

**[ANEXO N° 1]**

Anteproyecto de norma de TAE propuesta al CENDIT

RIF: G-20007113-3

	Norma Técnica	ANTEPROYECTO
	<b>Procedimientos para determinar la Tasa de Absorción Específica (TAE) para equipos inalámbricos de telecomunicaciones que operen en las proximidades de la oreja humana (rango de frecuencia desde 300 MHz hasta 3 GHz)</b>	<b>CENDIT</b>
		<b>CENDIT-DSC/ 020508-003</b>

## PRÓLOGO

El presente anteproyecto de norma CENDIT-DSC/020508-003 “Procedimientos para determinar la Tasa de Absorción Específica (TAE) para equipos inalámbricos de telecomunicaciones que operen en las proximidades de la oreja humana (rango de frecuencia desde 300 MHz hasta 3 GHz)”, corresponde a una armonización de las normas IEC 62209-1:2005 e IEEE 1528:2003, la cual se propone al CT 11 SC 04 de FONDONORMA para su correspondiente revisión y discusión, a objeto de que la misma se convierta en una norma FONDONORMA y posteriormente se someta a consideración por parte de SENCAMER, para su designación como norma COVENIN. De igual manera se plantea que el anteproyecto de norma elaborado, sea sometido a revisión y estudio por parte del comité 106 de la IEC, el cual se encarga de los métodos para la evaluación de la exposición humana a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos.

El anteproyecto de norma propuesto CENDIT-DSC/020508-003 fue elaborado, revisado y discutido por personal del CENDIT y asesores técnicos.

# CONTENIDO

1	OBJETIVO	5
2	REFERENCIAS NORMATIVAS	5
3	TÉRMINOS Y DEFINICIONES	6
4	ACRÓNIMOS	15
5	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	16
5.1	Requerimientos Generales	16
5.2	Especificaciones del fantasma (carcasa y líquido)	17
5.2.1	Requerimientos Generales	17
5.2.2	Tamaño y forma del fantasma estándar	17
5.2.3	Carcasa del fantasma	19
5.2.4	Propiedades del líquido equivalente de tejido	21
5.3	Especificaciones del equipamiento de medición de TAE	22
5.3.1	Requerimientos generales	22
5.3.2	Sonda de campo eléctrico (campo-E) y electrónica de lectura	23
5.4	Especificaciones del sistema de barrido	33
5.4.1	Requerimientos generales	33
5.4.2	Precisión	33
5.4.3	Resolución de posicionamiento	33
5.5	Especificaciones del dispositivo de soporte	33
5.6	Medición de las propiedades dieléctrica del líquido	34
6	PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DE TAE	34
6.1	Preparación de la medición	34
6.1.1	Preparación general	34
6.1.2	Chequeo del sistema	34
6.1.3	Preparación del equipo inalámbrico bajo prueba	35
6.1.4	Posición del equipo inalámbrico respecto al fantasma	35
6.1.5	Modo operacional	39
6.1.6	Frecuencias de prueba	40
6.2	Pruebas a ser realizadas	41

6.3	Procedimiento de medición	43
6.4	Post procesamiento de las mediciones de TAE	44
6.4.1	Interpolación	45
6.4.2	Extrapolación	45
6.4.3	Definición del volumen de promediación	45
6.4.4	Búsqueda del máximo	45
7	ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	45
7.1	Consideraciones generales	45
7.1.1	Concepto para la estimación de las incertidumbres	45
7.1.2	Evaluaciones Tipo A y Tipo B	46
7.1.3	Grados de libertad y factor de cobertura	47
7.2	Componentes contribuyentes la incertidumbre	48
7.2.1	Contribución del sistema de medición	48
7.2.2	Contribución de las restricciones mecánicas	52
7.2.3	Contribución de los parámetros físicos	57
7.3	Estimación de la incertidumbre	64
7.3.1	Incertidumbres compuestas y expandidas	64
7.3.2	Máximo de la incertidumbre expandida	65
8	REPORTE DE MEDICIÓN	70
8.1	Generalidades	70
8.2	Puntos a registrar en un reporte de prueba	70
8.2.a	Introducción general	71
8.2.b	Sistema de medición	72
8.2.c	Estimación de la incertidumbre	73
8.2.d	Detalles del equipo y de la prueba	73
8.2.e	Otros asuntos	75
9	VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TAE	75
9.1	Introducción	75
9.1.1	Chequeo del sistema	76
9.1.2	Validación del sistema	76
9.1.3	Comparaciones interlaboratorios	76
9.2	Chequeo del Sistema	76

9.2.1	Propósito	76
9.2.2	Fantasma	77
9.2.3	Fuente estándar	77
9.2.4	Medición de la potencia de entrada de la fuente normalizada	77
9.2.5	Procedimiento de chequeo del sistema	79
9.3	Validación del Sistema	80
9.3.1	Propósito	80
9.3.2	Fantasma	80
9.3.3	Fuente dipolo de referencia	80
9.3.4	Medición de potencia de entrada al dipolo de referencia	81
9.3.5	Requerimientos ambientales	81
9.3.6	Procedimientos de validación del sistema	81
9.3.7	Valores de referencia de TAE	82
9.4	Guías para la comparación interlaboratorio	83
9.4.1	Propósito	83
9.4.2	Fantasma	84
9.4.3	Equipos inalámbricos de referencia y laboratorio de monitoreo	84
9.4.4	Medición de potencia de salida	84
9.4.5	Procedimiento de comparación interlaboratorio	85
Anexo A - Especificaciones del fantasma		86
Anexo B - Calibración de los instrumentos de medición (linealidad, isotropía, sensibilidad) y estimación de la incertidumbre		93
Anexo C - Técnicas de post procesamiento		115
Anexo D - Definición del sistema de coordenadas de un fantasma y del sistema de coordenadas de un equipo bajo prueba		121
Anexo E - Dipolos de validación		123
Anexo F - Fantasma plano		125
Anexo G - Fórmulas recomendadas para los líquidos equivalentes de los tejidos de la cabeza		128
Anexo H - Mediciones de las propiedades dieléctricas de los líquidos y estimación de la incertidumbre		130
Bibliografía		142

**CENDIT-DCC / 020508-003**  
**ANTEPROYECTO DE NORMA TÉCNICA CENDIT**

Procedimientos para determinar la Tasa de Absorción Específica (TAE) en equipos inalámbricos de telecomunicaciones que operen en las proximidades de la oreja humana (rango de frecuencia desde 300 MHz hasta 3 GHz)

## 1      **OBJETIVO**

El objetivo de esta norma es especificar procedimientos para determinar, en un modelo simplificado de la anatomía humana, la Tasa de Absorción Específica (TAE) en equipos inalámbricos de telecomunicaciones, con su parte radiante destinada a operar en las proximidades de la oreja humana y demostrar conformidad con los límites establecidos para el rango de frecuencias desde 300 MHz hasta 3 GHz. IEEE 1528: 2003 1.2, pág 2.

## 2      **REFERENCIAS NORMATIVAS**

Los siguientes estándares referenciados son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias vigentes, sólo aplica la edición citada. Para referencias no vigentes, la última edición aplica incluyendo cualquier enmienda.

FONDONORMA ISO/IEC 17025:2005, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

COVENIN 3631-2000, Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones.

**COMENTARIO INICIAL:** Parte del texto en fondo azul son referencias de la procedencia de las cláusulas, párrafos, tablas, figuras y líneas. La mayor parte de la norma fue hecha en base a la estructura de la norma IEC 62209-1: 2005. En la mayoría de los casos la referencia está colocada al inicio de cada cláusula y/o subcláusula, si dentro de la misma se da otra referencia, esta aplica para el párrafo, oración o idea anterior debidamente encerrada entre corchetes de fondo azul, mientras que el resto del texto (no encerrado en corchetes) pertenece a la referencia colocada al inicio de la cláusula y/o subcláusula. Otra parte del texto en fondo azul (como este) son comentarios sobre algún punto en particular, el cual puede estar ubicado antes del comentario o identificado con un número de pie de página en donde se ubica el comentario.

El texto en fondo amarillo son dudas o consideraciones sobre la traducción o interpretación de algún párrafo, línea o palabra en específico. El texto en fondo verde son partes de la norma que se considera eliminar. Adicionalmente, lo que está en fondo azul debe ser eliminado de la versión final.

### 3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para propósitos de este documento, los siguientes términos y definiciones aplican.

#### 1.1 Antena dipolo

(IEEE 1528: 2003, 3.21) (A) Un radiador lineal, usualmente alimentado en el centro, produciendo un máximo de radiación en el plano normal a su eje. (B) Cualquiera de una clase de antenas produciendo un patrón de radiación aproximadamente igual al de un dipolo eléctrico elemental.

Nota: El uso común del término considera una antena dipolo como una estructura de metal radiante que soporta una distribución de corriente similar a la de un cable delgado, una longitud de media onda, energizado de tal manera que la corriente tiene un nodo solamente en sus extremos.

#### 1.2 Antropomórfico

(IEEE 1528: 2003, 3.6, pág. 10) Que tiene forma o atributos parecidos a los humanos.

#### 1.3 Cámara anecoica

(IEEE 1528: 2003, 3.1) Ambiente cerrado especialmente diseñado con paredes que absorben suficientemente bien el sonido o la energía EM incidente para crear esencialmente una condición de espacio libre en la banda de frecuencia de interés.

#### 1.4 Campo eléctrico (campo-E)

(IEC, 3.12) Cantidad vectorial del campo  $\vec{E}$  que ejerce una fuerza  $\vec{F}$  sobre una partícula cargada en reposo igual al producto de  $\vec{E}$  y de la carga eléctrica  $q$  de la partícula:

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

donde

$\vec{F}$  es el vector fuerza actuando sobre la partícula en newton [N];

$q$  es la carga de la partícula en coulomb [C];

$\vec{E}$  es el campo eléctrico dado en voltio por metro [V/m].

#### 1.5 Campo electromagnético (CEM)

(IEEE std 1528:2003, 3.33) Fenómeno electromagnético expresado en funciones escalares o vectoriales de espacio y tiempo, por ejemplo, un campo variante en el tiempo asociado con fuerzas eléctricas y magnéticas, y descritas por las ecuaciones de Maxwell.

#### 1.6 Campo magnético (campo-H)

(IEC, 3.19) Cantidad vectorial obtenida en un punto dado por la sustracción de la magnetización de la densidad de flujo magnético dividido por la constante dieléctrica magnética (permeabilidad):

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} - \vec{M}$$

donde

- $\vec{H}$  es el campo magnético en amperes por metro [A/m];  
 $\vec{B}$  es la densidad de flujo magnético en tesla [T];  
 $\mu$  es la constante dieléctrica magnética (permeabilidad) del vacío en henry por metro [H/m];  
 $\vec{M}$  es la magnetización en ampere por metro [A/m].

Nota: Para propósitos de esta norma,  $\vec{M} = 0$  en todos los puntos.

### 1.7 Capacidad calórica

(IEEE std 1528:2003, 3.43) Cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura de una masa dada de una sustancia un grado centígrado. La capacidad calórica está expresada en unidades de joule por kilogramo por grado kelvin (J/kg°K) o joule por kilogramo por grado Celsius (J/kg°C).

### 1.8 Chequeo del sistema

(IEEE std 1528:2003, 3.100) Para propósitos de esta norma, es la confirmación de los aspectos operacionales del sistema de TAE para probar un único equipo, para asegurar que el desempeño del sistema esté dentro del rango aceptable especificado por el fabricante.

### 1.9 Conductividad

(IEC 62209-1:2005, 3.8) La relación entre la densidad de corriente en un medio y la intensidad de campo eléctrico

$$\sigma = \frac{(\vec{J})}{(\vec{E})}$$

donde

- $\vec{E}$  es el campo eléctrico dado en voltio por metro [V/m];  
 $\vec{J}$  es la densidad de corriente en ampere por metro cuadrado [A/m<sup>2</sup>];  
 $\sigma$  es la conductividad del medio en siemens por metro [S/m].

### 1.10 Densidad de flujo eléctrico

(IEC, 3.13) Cantidad vectorial obtenida en un punto dado por la adición de la polarización eléctrica  $\vec{P}$  al producto del campo eléctrico  $\vec{E}$  y la constante dieléctrica  $\epsilon_0$  :

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

donde

- $\vec{D}$  es la densidad de flujo eléctrico en coulomb por metro cuadrado [C/m<sup>2</sup>];

- $\epsilon_0$  es la permitividad del espacio libre =  $8.854 \times 10^{-12}$  farad por metro [F/m];
- $\vec{E}$  es el campo eléctrico dado en voltio por metro [V/m];
- $\vec{P}$  es la polarización eléctrica del medio en coulomb por metro cuadrado [C/m<sup>2</sup>].

Nota: Para propósitos de esta norma, la densidad de flujo eléctrico en todos los puntos es igual al producto del campo eléctrico por la constante dieléctrica:

$$\vec{D} = \epsilon'_r \vec{E}$$

### 1.11 Deriva

**Drift (deriva, según la IEC 60050: IEV number 311-06-13)** Cambio en la indicación de un instrumento de medición, generalmente lenta, continua, no necesariamente en la misma dirección y no relacionada a un cambio en la medición.

### 1.12 Dispositivo de soporte

**(IEEE std 1528:2003, 3.18)** Dispositivo de material dieléctrico de bajas pérdidas que permite posicionar y mantener en la posición deseada al equipo bajo prueba durante las mediciones.

### 1.13 Distribución de probabilidad

**(IEEE std 1528:2003, 3.73)**

(A) Normal: Una función de distribución de probabilidad que puede ser descrita por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

donde  $\sigma$  es definido como la desviación estándar.

(B) Rectangular: Una función de distribución donde todos los valores continuos son igualmente probables.

(C) Triangular: Una función de distribución continua donde los valores tienden a ser agrupados cerca del centro.

(D) Forma de U: Una función de distribución continua donde los valores tienden a ser agrupados cerca del fin.

### 1.14 Dosimetría

**(IEC 60050: IEV number 881-12-01)** Todos los métodos de determinación, sean de medición directa, de medición indirecta o de evaluación de una dosis absorbida, tasa de dosis absorbida, tasa de exposición, dosis equivalente, etc. y la ciencia asociada con esos métodos.

### 1.15 Efecto de frontera (sonda)

**(IEC, 3.5)** Cambio en la sensibilidad de una sonda de campo-E cuando la misma es colocada en la proximidad (menos que un diámetro de la punta de la sonda) de los límites de un medio.

Nota: Este error es típicamente menor al 2% si la distancia entre la punta de la sonda y la superficie es mayor que la mitad del diámetro de la sonda. **(IEEE 1528: 2003, 3.12)**

## **1.16 Equipo de mano**

(IEC, 3.14) Equipo sostenido por la mano destinado a ser operado en la cercanía de la cabeza, que consiste en una salida acústica o audífono, un micrófono, y que contiene un radio transmisor y receptor.

## **1.17 Equipo móvil (inalámbrico)**

(IEC 62209, 3.23) Únicamente para este estándar, es un equipo de comunicaciones inalámbrico; el cual es usado mientras es sostenido cerca de la cabeza, contra el oído.

Nota: Los términos “móvil” y “portátil” tienen significados específicos pero genéricos en la IEC 60050 (Vocabulario Electrotécnico Internacional) – móvil: capaz de operar mientras está siendo movilizado (IEV 151-16-46); portátil: capaz de ser transportado por una persona (IEV 151-16-47). El término “portátil” normalmente implica la habilidad de operar cuando este es transportado. Esas definiciones son usadas intercambiablemente en varias regulaciones para equipos inalámbricos y especificaciones de la industria, en algunos casos se refieren a tipos de equipos inalámbricos y en otros casos al uso que se le pretende dar.

## **1.18 Error de linealidad**

(IEC, 3.17) Máxima desviación de una cantidad medida sobre el rango de medición desde la línea de referencia definida más cercana sobre un intervalo dado.

## **1.19 Factor de trabajo**

(IEC, 3.10) La relación de la duración del pulso respecto al periodo del pulso de un tren de pulsos periódicos.

## **1.20 Fantasma**

(IEEE 1528: 2003, 3.64) Para los propósitos de esta norma, es una representación o modelo usualmente similar en apariencia a la anatomía humana y compuesto de un material con propiedades eléctricas similares a los tejidos correspondientes. Un fantasma representa la cabeza humana, pudiendo ser un simple modelo esférico o un modelo antropomórfico multi-tejido más complejo.

## **1.21 Incertidumbre (combinada)**

(IEC 62209-1: 2005, 3.39) Incertidumbre normalizada del resultado de una medición cuando la misma es obtenida a partir de los valores de un número de otras cantidades, iguales a la raíz cuadrada positiva de la suma de los términos, siendo los términos las varianzas y/o covarianzas de los valores de esas otras cantidades ponderadas en concordancia con la variación del resultado de medición con los cambios en esas cantidades.

## **1.22 Incertidumbre (estándar)**

(IEC 62209-1: 2005, 3.41) La desviación estándar del resultado de una medición, igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza estimada.

## **1.23 Incertidumbre (expandida)**

(IEC 62209-1: 2005, 3.40) Una cantidad definiendo un intervalo para el resultado de una medición que podría ser considerada como englobando una larga fracción de la distribución de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos a la medición.

## **1.24 Intensidad de campo eléctrico (E)**

(IEEE 1528: 2003, 3.30) (A) General: La intensidad de campo eléctrico en un punto es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga positiva colocada en el punto considerado.

- (B) Sistema de transmisión de señal: La magnitud del potencial gradiente en un campo-E expresado en unidades de diferencia de potencial por unidad de longitud en la dirección del gradiente.
- (C) Propagación de onda de radio: La magnitud del vector del campo-E. La intensidad de campo eléctrico es expresada en unidades de voltio por metro (V/m).

### 1.25 Intensidad de campo magnético (H)

(IEEE 1528: 2003, 3.52) La magnitud del vector del campo magnético, expresado en unidades de ampere por metro (A/m). Para campos armónicos en el tiempo, en un medio con propiedades magnéticas isotrópicas y lineales, H es igual a la relación de la densidad del flujo magnético B y la permitividad magnética del medio  $\mu$ , es decir,  $H = B/\mu$ .

### 1.26 Isotropía axial

(IEC 62209-1: 2005, 3.3) Máxima desviación de TAE cuando se rota la cubierta/casco de la sonda sobre el eje mayor, mientras la sonda es expuesta a una onda de referencia que se propaga en una dirección a lo largo del eje mayor de la misma.

### 1.27 Isotropía de la sonda

(IEC 62209-1: 2005, 3.32) Grados de independencia de la respuesta de una sonda de campo eléctrico o de campo magnético comparada a la polarización y dirección de propagación de la onda incidente.

### 1.28 Isotropía hemisférica

(IEC 62209-1: 2005, 3.15) Máxima desviación de TAE cuando se rota la sonda sobre su eje mayor con la sonda expuesta a una onda de referencia, teniendo variación en los ángulos de incidencia relativos al eje de la sonda, incidente desde la mitad del espacio en frente de la sonda.

### 1.29 Longitud de onda

(IEC 62209-1: 2005, 3.42) Distancia entre dos puntos de fase equivalente de dos ciclos consecutivos de una onda en la dirección de propagación. La longitud de onda  $\lambda$  está relacionada con la magnitud de la velocidad de fase  $v_p$  y la frecuencia  $f$  por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$

La longitud de onda  $\lambda$  de una onda electromagnética está relacionada a la frecuencia y velocidad de la luz en el medio por la expresión:

$$c = f\lambda$$

donde

- $f$  es la frecuencia en hertz [Hz];  
 $c$  es la velocidad de la luz en metro por segundo [m/s];  
 $v_p$  es la magnitud de la velocidad de fase en metro por segundo [m/s];  
 $\lambda$  es la longitud de onda en metro [m].

Nota: En espacio libre la velocidad de una onda electromagnética es igual a la velocidad de la luz ( $2,998 \times 10^8$  m/s).

### 1.30 Multibanda (equipo inalámbrico)

(IEC 62209-1: 2005, 3.24) Equipo inalámbrico capaz de operar en más de una banda de frecuencia.

### 1.31 Multimodo (equipo inalámbrico)

(IEC 62209-1: 2005, 3.25) Equipo inalámbrico capaz de operar en más de un modo de transmisión de señales, por ejemplo, analógico, TDMA y CDMA.

### 1.32 Pabellón (oreja)

(IEEE 1528: 2003, 3.67) Porción proyectada, larga y cartilaginosa del oído externo constituido por la hélice, lóbulo, y anti-hélice. Sinónimo: aurícula.

### 1.33 Permitividad compleja

(IEC 62209-1: 2005, 3.6) Es la relación entre la densidad del flujo eléctrico en un medio y la intensidad del campo eléctrico en un punto. La permitividad de un tejido biológico es dependiente de la frecuencia.

$$\varepsilon = \frac{(\vec{D})}{(\vec{E})} = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

donde

$\vec{D}$  es la densidad de flujo eléctrico en coulomb por metro cuadrado [ $C/m^2$ ];

$\vec{E}$  es el campo eléctrico en voltio por metro [ $V/m$ ];

$\varepsilon_0$  es la permitividad del espacio libre =  $8,854 \times 10^{-12}$  farad por metro [ $F/m$ ];

$\varepsilon_r$  es la permitividad relativa compleja:  $\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j \cdot \varepsilon''_r = \varepsilon'_r + \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon_0}$ .

Nota: para un medio isotrópico, la permitividad es una cantidad escalar; para un medio no isotrópico, esta es una cantidad tensorial.

### 1.34 Permitividad relativa

(IEC 62209-1: 2005, 3.33) La relación entre la permitividad compleja y la permitividad de espacio libre. La permitividad relativa compleja,

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

de un medio dieléctrico isótropo con pérdidas lineales está dado por:

$$\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r = \varepsilon'_r + \frac{\sigma}{j\omega\eta} = \varepsilon'_r \left( 1 - j \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r} \right) = \varepsilon'_r (1 - j \tan(\delta))$$

donde

- $\epsilon_0$  es la permitividad del espacio libre o constante dieléctrica ( $8,854 \times 10^{-12}$  F/m) farad por metro [F/m];
- $\epsilon$  es la permitividad compleja en farad por metro;
- $\epsilon_r$  es la permitividad relativa compleja;
- $\epsilon_r'$  es la parte real de la permitividad relativa compleja, también conocida como constante dieléctrica;
- $\epsilon_r''$  es la parte imaginaria de la permitividad relativa compleja, la cual representa las pérdidas dieléctricas;
- $\sigma$  es la conductividad del medio en siemens por metro [S/m];
- $\omega$  es la frecuencia angular ( $\omega=2\pi f$ ) en radián por segundo [rad/s].
- $\tan \delta$  es la tangente de pérdida (adimensional).

### 1.35 Pico espacial promedio de TAE

(IEC 62209-1: 2005, 3.26) Es el máximo valor de TAE promediado dentro de una masa específica.

### 1.36 Plano sagital

(IEEE 1528: 2003, 3.90) Para propósitos de esta norma, es el plano medio de la cabeza, es decir, un plano que divide la mitad derecha de la cabeza de la izquierda.

### 1.37 Potencia de salida conducida

(IEC 62209-1: 2005, 3.7) Es la potencia promedio suministrada por un transmisor a la línea de transmisión de una antena, durante un intervalo de tiempo lo suficientemente largo comparado con el periodo de la frecuencia más baja encontrada en la modulación, evaluada bajo condiciones normales de operación.

### 1.38 Potencia promedio (temporal)

(IEC 62209-1: 2005, 3.2) Es la tasa de tiempo promediado de la transferencia de energía dada por:

$$\bar{P} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

donde

- $t_1$  es el tiempo inicial de exposición en segundo [s];
- $t_2$  es el tiempo final de exposición en segundo [s];
- $t_2 - t_1$  es la duración de exposición en segundo [s];
- $P(t)$  es la potencia instantánea absorbida en watt [W];
- $\bar{P}$  es la potencia promedio en watt [W].

### 1.39 Prueba benchmark

(IEEE 1528: 2003, 3.10) Procedimiento o prueba que puede ser usada para comparar sistemas o componentes el uno con el otro o con un estándar.

#### **1.40 Radio push-to-talk (PTT)**

(IEEE 1528: 2003, 3.83) Tecnología de radio de doble vía en la cual un commutador mecánico es usado para alternar entre radio transmisión y recepción. Algunas veces llamado operación half-duplex.

#### **1.41 Repetibilidad**

(COVENIN 2552: 1999; 3.6) Grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud a medir, llevadas a cabo bajo las mismas condiciones. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

#### **1.42 Reproducibilidad**

(COVENIN 2552: 1999; 3.7) Grado de concordancia entre el resultado de mediciones de la misma magnitud a medir, llevadas a cabo bajo distintas condiciones. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

#### **1.43 Sensibilidad (de un sistema de medición)**

(IEC 62209-1: 2005, 3.36) Es la relación de la magnitud de la respuesta del sistema (por ejemplo, el voltaje), con la magnitud de la cantidad medida (por ejemplo, el cuadrado de la intensidad del campo eléctrico).

#### **1.44 Sistema de barrido**

(IEC 62209-1: 2005, 3.35) Un sistema de posicionamiento automático capaz de colocar la sonda de medición en posiciones específicas.

#### **1.45 Software**

(IEC 60050: IEV number 702-09-02) Programas de computación, procedimientos, reglas y cualquier documento asociado con la operación de un equipamiento, una red de telecomunicaciones u otro sistema.

#### **1.46 Sonda**

(IEEE 1528: 2003 3.74) Para propósitos de esta norma, es un dispositivo de perturbación mínima usado para medir una componente de un campo RF en un medio. Una sonda contiene los siguientes componentes:

- a) Un sensor (o sensores) eléctricamente corto (en el medio) para detectar la componente de campo RF de interés.
- b) Un medio para convertir la señal RF a una señal CD proporcional o CA de lenta variación.
- c) Una línea de transmisión balanceada resistiva de alta impedancia para extraer la señal rectificada.

#### **1.47 Sonda de campo eléctrico (campo-E)**

(IEEE 1528: 2003 3.28) Una estructura de perturbación mínima que contiene un sensor de campo-E eléctricamente corto, o un conjunto de múltiples sensores de campo-E, y los componentes necesarios para transformar la señal RF muestreada en una corriente directa proporcional o voltaje. Una sonda

elemental de campo-E consiste de un sustrato dieléctrico delgado que contiene un sensor, como en un dipolo eléctricamente corto, un diodo que rectifica la señal RF y una línea de transmisión balanceada de alta impedancia para extraer la señal rectificada. Una sonda isotrópica consiste de tres de estos dispositivos arreglados en una viga “I”, (o viga “H”) o una configuración “Δ” (viga triangular) (preferida) con el eje de cada dipolo ortogonal a los ejes de cada otro, por ejemplo, alineado a lo largo de las diagonales de un cubo.

#### 1.48 Tangente de pérdida

(IEC 62209-1: 2005, 3.18) La proporción de las partes reales e imaginarias de la permitividad relativa compleja de un material.

$$\tan\delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_r'\epsilon_0}$$

donde

$\tan\delta$  es la tangente de pérdida (adimensional);

$\epsilon_r''$  es la parte imaginaria de la permitividad relativa compleja;

$\epsilon_r'$  es la parte real de la permitividad relativa compleja;

$\epsilon_0$  es la permitividad del espacio libre =  $8,854 \times 10^{-12}$  farad por metro [F/m];

$\omega$  es la frecuencia angular ( $\omega=2\pi f$ ) en radián por segundo [rad/s];

$\sigma$  es la conductividad del medio en siemens por metro [S/m].

#### 1.49 Tasa de absorción específica (TAE)

(IEC 62209-1: 2005, 3.38) Es la derivada respecto al tiempo del incremento de la energía electromagnética ( $dW$ ) absorbida (dissipada adentro) por una masa incremental ( $dm$ ) contenida en un volumen ( $dV$ ) de una densidad de masa dada ( $\rho$ ).

$$TAE = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{\rho dV} \right)$$

La TAE puede ser obtenida usando alguna de las siguientes ecuaciones:

1 – La TAE puede ser relacionada con el campo-E por la ecuación:

$$TAE = \frac{\sigma |E|^2}{\rho}$$

2 – La TAE puede ser relacionada con el incremento en la temperatura por la ecuación:

$$TAE = c_h \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}$$

donde

TAE es la Tasa de Absorción Específica en watt por kilogramo [W/kg] o su equivalente miliwatt por gramo [mW/g];  
E es el valor r.m.s. de la intensidad de campo eléctrico en el tejido en voltios por metro [V/m];  
 $\sigma$  es la conductividad del tejido en siemens por metro [S/m];  
 $\rho$  es la densidad del tejido en kilogramo por metro cúbico [kg/m<sup>3</sup>];  
 $c_h$  es la capacidad calórica del tejido en joule por kilogramo y kelvin [J/kg.K];  
 $\left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}$  es la derivada inicial de la temperatura respecto al tiempo en el tejido en kelvin por segundo [K/s];

### 1.50 Tiempo de respuesta

(IEC 62209-1: 2005, 3.34) El tiempo requerido por el equipo de medición para alcanzar 90% de su valor final después de una variación de la señal de entrada.

### 1.51 Validación del sistema

(IEEE 1528: 2003, 3.101) Para propósitos de esta norma, es la verificación de las especificaciones de desempeño de todo el sistema de medición de TAE, probando el sistema contra valores conocidos o contra otros sistemas.

## 4 ACRÓNIMOS

BSS	Base Station Simulator (Simulador de Radio Base)
CDMA	Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código)
CAD	Computer Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
EBP	Equipo Bajo Prueba (DUT, Device Under Test)
EM	Electromagnético
ELF	Extremely Low Frequency (Frecuencia Extremadamente Baja)
ERP	Ear Reference Point (Punto de Referencia del Oído u Oreja)
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global de Comunicaciones Móviles)
MAE	Maniquí Antropomórfico Específico (SAM, Specific Anthropomorphic Mannequin)
OC	Onda Continua
MP	Medidor de Potencia (Power Meter)
RF	Radio Frecuencia
TAE	Tasa de Absorción Específica (SAR, Specific Absorption Rate)
TDMA	Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)
TEM	Modo Transverso Electromagnético (Transversal Electromagnetic Mode)

## 5 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

(IEC 62209-1: 2005 5, pág. 33)

### 5.1 Requerimientos Generales

Un sistema de medición de TAE está compuesto por un fantasma, instrumentación de medición electrónica, un sistema de barrido y un dispositivo de soporte.

La prueba debe ser realizada usando una sonda miniatura que es automáticamente posicionada para medir la distribución interna del campo-E en un modelo fantasma representando la cabeza humana expuesta a los campos electromagnéticos producidos por equipos inalámbricos. Partiendo de los valores de campo-E medidos, se debe calcular la distribución de TAE y el valor del pico espacial promedio de TAE.

Las pruebas deben ser realizadas en un laboratorio conforme con las siguientes condiciones ambientales:

- La temperatura de ambiente debe estar en el rango de 18 °C a 25 °C. (IEC 62209-1: 2005 5.1, pág. 33)
- [ La diferencia de la magnitud entre la temperatura del líquido equivalente de tejido durante la evaluación de TAE y la temperatura durante la medición de los parámetros dieléctricos del líquido no debe exceder los 2 °C. ](IEEE 1528: 2003 Tabla 3, pág. 4)<sup>1</sup>
- [ El ruido de ambiente debe ser inferior a 0.012 W/kg (3% del límite de detección base 0.4 W/kg). ] (IEC 62209-1: 2005 5.1, pág. 35)
- [ El equipo bajo prueba no estará conectado a redes inalámbricas locales. ] (IEC 62209-1: 2005 5.1, pág. 35)
- [ Los efectos de reflexiones, transmisores secundarios RF, etc., debe ser menor que 3% del valor medido de TAE. ](IEC 62209-1: 2005 5.1, pág. 35)

[ El nivel RF de ambiente es la señal detectada por el sistema de medición cuando el sistema de equipo bajo prueba está apagado y no transmite. Las señales de ambiente pueden incluir ruido RF, ruido ELF (sistema de iluminación, el sistema de barrido, aterramiento de la alimentación de potencia del laboratorio, etc.), efectos electrostáticos (movimiento de la sonda, movimiento del personal, etc.) y otros efectos (efectos de las luces de detección, temperatura, etc.). El nivel de ruido de ambiente debe ser determinado de acuerdo a 7.2.3.6 ](IEEE 1528: 2003 6.6.1.1, pág. 48, 1er párrafo)

[ Si las mediciones son realizadas en un ambiente RF controlado, por ejemplo, una cámara anecoica o blindada, el chequeo del ambiente debe ser realizado solo una vez al año si no hay cambios en el interior de fuentes RF y ELF ] (IEEE 1528: 2003 6.6.1.1, pág. 48, 1er párrafo, 6ta línea). [ Las evaluaciones dosimétricas deben ser solamente realizadas cuando los efectos de las reflexiones, transmisores RF secundarios, etc., en la TAE medida sea menor del 3% de la medición de TAE. ](IEEE 1528: 2003 6.6.1.1, pág. 48, 2do párrafo, 3ra línea)

<sup>1</sup> Comentario: Fue colocada la Tabla 3 del estándar IEEE 1528: 2003, debido a que este especifica mejor respecto a que mediciones es esa diferencia de temperatura de 2 °C.

## 5.2 Especificaciones del fantasma (carcasa y líquido)

(IEC 62209-1: 2005 5.2)

Comentario: la norma IEC 62209-1: 2005 en esta sección solo especifica el fantasma bisecado, sin incluir el fantasma plano, sino colocándolo en su Anexo H. Sin embargo, se considera importante dar una introducción al fantasma plano que será usado para la *validación del sistema y chequeo del sistema*.

### 5.2.1 Requerimientos Generales

(IEC 62209-1: 2005 5.2.1)

[ El barrido de una sonda de campo-E (campo eléctrico) es realizado dentro de dos mitades de un fantasma bisecado o una cabeza completa de un fantasma con una apertura en el tope. El modelo fantasma debe usar materiales con propiedades dieléctricas similares a los presentes en los tejidos de la cabeza humana, los cuales consistirán en un líquido contenido en una carcasa ] (IEC 62209-1: 2005 5.2.1).

[ Para minimizar las reflexiones de la superficie superior del líquido, la profundidad del líquido debe ser al menos de 15 cm, la cual es aproximadamente la distancia entre las orejas de un fantasma de cabeza completa. ] (IEEE 1528: 2003 5.1.1, pág. 31, 2do. párrafo, 2da línea)

[ El fantasma permitirá un estable y repetible posicionamiento del equipo para mediciones de pico de TAE y será efectivo para verificar la repetibilidad y reproducibilidad en comparaciones entre laboratorios. El fantasma será imparcial respecto a cualquier diseño o forma del equipo de mano. ] (IEEE 1528: 2003 1.4.1, criterio b)]

Parámetros del fantasma: (IEEE 1528: 2003 1.4.1)

- 3 Tamaño de la cabeza, y homogeneidad de la carcasa y líquido.
- 4 Parámetros eléctricos del tejido equivalente de la cabeza y carcasa del fantasma.
- 5 Pabellón de la oreja/tamaño de la aurícula, forma, propiedades del material.
- 6 Exclusión de la mano.

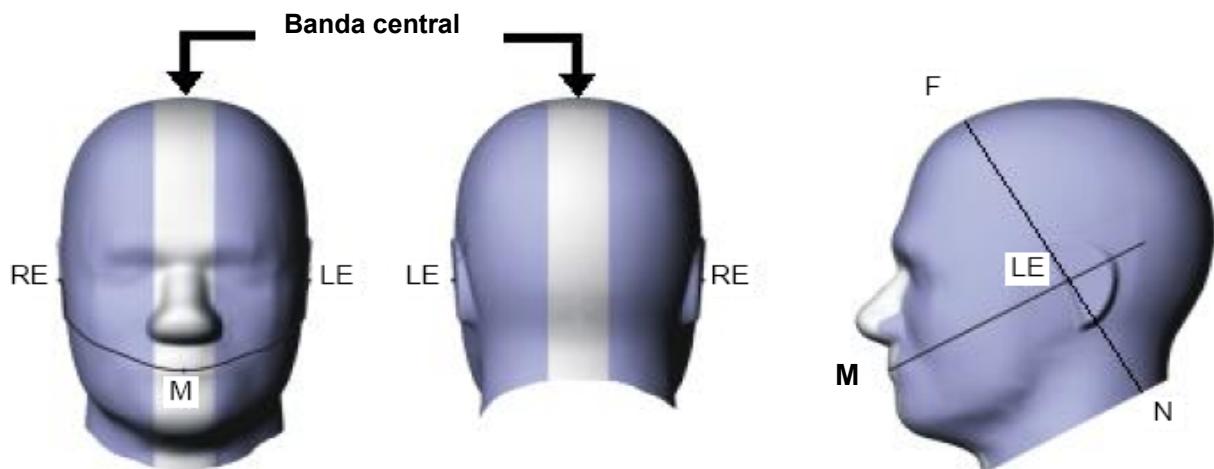
[ La mano se excluye debido a una sobreestimación del pico espacial promedio de TAE comparado con las condiciones de uso normal. ] (IEEE 1528: 2003 1.4.1, pág. 05)

[ Al menos tres puntos de referencia en el fantasma deben ser definidos por el fabricante para correlacionar el sistema de barrido con el fantasma. Esos puntos serán visibles al usuario y espaciados a no menos de 10 cm ] (IEC 62209-1: 2005 5.2.1, pág. 35). [ Los métodos descritos en esta norma están enfocados en los fantasmas bisecados sagitalmente. ] (IEEE 1528: 2003 5.1.1, pág. 31)

### 5.2.2 Tamaño y forma del fantasma estándar

#### 5.2.2.1 Fantasma MAE

[ La forma y dimensiones del fantasma estándar están descritos en el Anexo A. La Figura 1 muestra la vista frontal, trasera y de lado del fantasma MAE ] (IEC 62209-1: 2005 5.2.2, pág. 35). [ Las líneas N-F y B-M deben estar marcadas en el exterior de la carcasa del fantasma para facilitar el posicionamiento del equipo de mano (ver Figura 4) ] (IEEE 1528: 2003 5.3.2.1, pág. 37). [ El fantasma normalizado MAE (Maniquí Antropomórfico Específico) como se muestra en la Figura 2, debe ser usado para las mediciones de TAE de esta norma ] (IEC 62209-1: 2005 5.2.2, pág. 35).



Leyenda

RE	Punto de referencia del oído derecho (ERP)
LE	Punto de referencia del oído izquierdo (ERP)
M	Punto de referencia de la boca
F	Punto final de la línea N-F de la frente (para información solamente – marca en el fantasma no es requerida)
N	Punto final de la línea N-F del cuello (para información solamente – marca en el fantasma no es requerida)

Nota: el modelo de cabeza completa es solo para propósitos de ilustración, los procedimientos dados en esta norma provienen del fantasma de la Figura 2. La región de la banda central incluyendo la nariz tiene una tolerancia mayor del grosor.

**Figura 1 – Imagen del fantasma mostrando los puntos de referencia del oído RE y LE, punto de referencia de la boca M, línea de referencia N-F, y la banda central.** (IEC 62209-1: 2005 Fig. 1, pág. 37)

#### 5.2.2.2 Fantasma plano (IEEE 1528: 2003 5.3.3, pág. 39)

El fantasma plano debe ser usado con líquido equivalente de tejido recomendado para el *chequeo del sistema y validación del sistema*. Las dimensiones transversas mínimas (ancho y largo), deben ser tales que los resultados de TAE no estén afectados más del 1% comparado con un fantasma con dimensiones mayores (Ver Anexo F para especificaciones del fantasma plano). [ Las mínimas dimensiones del fondo del fantasma están dadas por una elipse que tiene un eje mayor a, eje menor b y grosor de la carcasa d, donde el criterio es:

$$a \geq 0.6 \lambda; b \geq 0.4 \lambda; 6.0 \text{ mm} \leq d \leq 6.3 \text{ mm} \text{ para } f < 800 \text{ MHz}^2$$

$$a \geq 225 \text{ mm}; b \geq 150 \text{ mm}; d = 2 \text{ mm} \text{ para } f \geq 800 \text{ MHz}$$

donde la longitud de onda  $\lambda$  es para espacio libre, y el grosor  $d$  debe ser uniforme con una tolerancia de  $\pm 0.2$  mm. Para las fuentes dipolos el punto de alimentación debe ser colocado en el centro de la elipse, y los extremos del dipolo deben estar alineados con el eje mayor (ver Anexo E para especificaciones del dipolo).

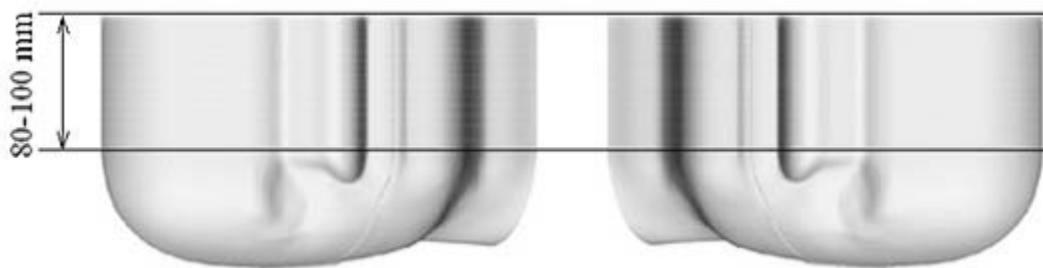
<sup>2</sup> Comentario: Se escogió esta parte de la IEC 62209-1: 2005, D.2.2, pág. 155, debido a que se muestran mejor los requerimientos en forma de ecuación en vez de la que adopta la IEEE 1528: 2003, la cual explica lo mismo pero con palabras.

La permitividad relativa de la carcasa plástica del fantasma debe ser menor de 5 y la tangente de pérdida menor de 0.05. El material debe ser resistente a daños o a reaccionar con los químicos del líquido equivalente de tejido. Cuando esté lleno con líquido con una profundidad mínima de 15 cm, la porción de espacio entre la superficie interna de la carcasa del fantasma, que está directamente sobre la fuente (por ejemplo, un dipolo) y la fuente, debe ser menor del 1 % de una longitud de onda en el espacio libre en el rango de frecuencia de 800 MHz a 3 GHz y menor que 0.5 % de una longitud de onda en el espacio libre para frecuencias por debajo de 800 MHz. ] (IEC 62209-1: 2005 D.2.2, pág. 155)

### 5.2.3 Carcasa del fantasma

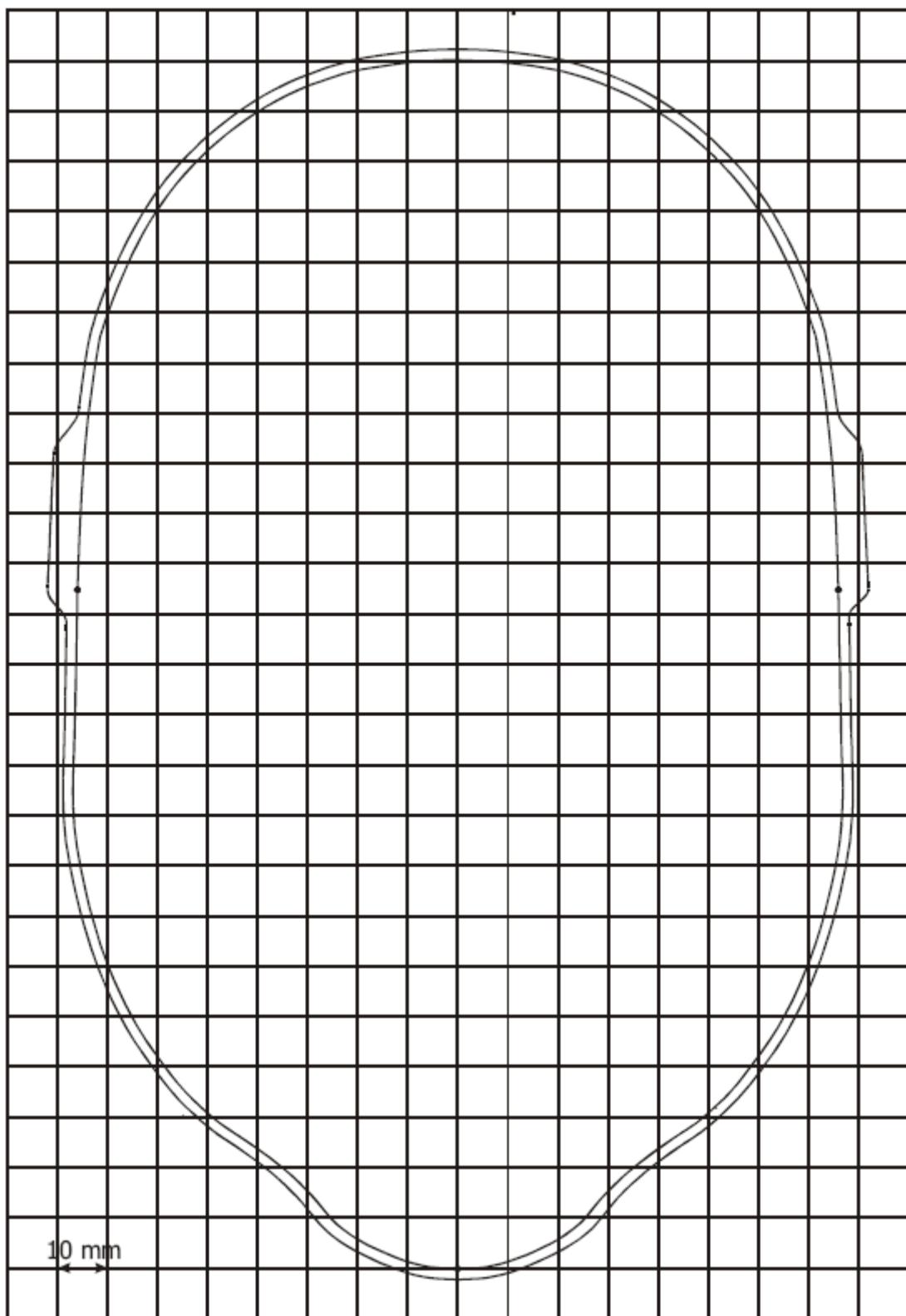
(IEC 62209-1: 2005 5.2.3, pág. 37)

La carcasa del fantasma debe ser resistente a todos los ingredientes usados en las fórmulas de líquido equivalente de tejido. La carcasa, incluyendo los espaciadores de la oreja debe ser construida con un material de baja permitividad y bajas pérdidas, con permitividad relativa  $\leq 5$  y una tangente de pérdida  $\leq 0.05$ . La forma del fantasma debe tener una tolerancia menor de  $\pm 0.2$  mm respecto al archivo CAD del fantasma. El grosor de la carcasa debe ser de  $(2 \pm 0.2)$  mm en cualquier área de proyección del equipo de mano, excepto por los espaciadores de bajas pérdidas de las orejas. Los espaciadores de bajas pérdidas (del mismo material que la carcasa de la cabeza) proveerán un espaciado de 6 mm desde el borde del líquido equivalente de tejido hasta el punto de referencia del oído (ERP), con una tolerancia menor de  $\pm 0.2$  mm. En la región de la banda central con  $\pm 1.0$  cm del plano central sagital (ver Figura 1), la tolerancia será de  $\pm 1.0$  mm.

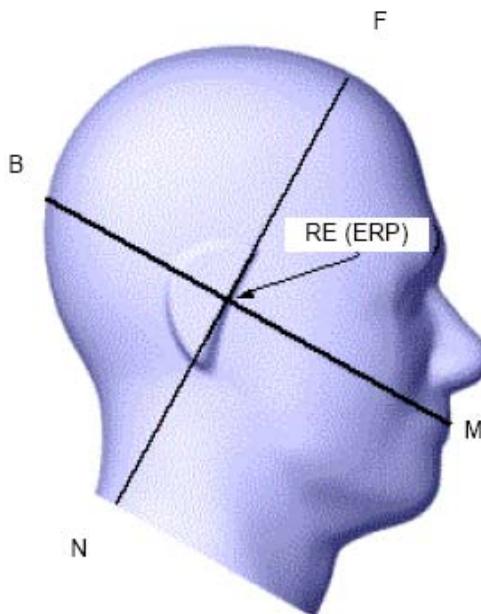


**Figura 2 – Fantasma bisecado sagitalmente con perímetro extendido (muestra colocada de lado como es usado para mediciones de TAE)**

[ En la Figura 1 el punto “M” es el punto de referencia de la boca, “LE” es el punto de referencia del oído izquierdo (ERP), y “RE” es el ERP derecho. Esos puntos deben estar marcados en el exterior del fantasma para facilitar un posicionamiento reproducible del equipo inalámbrico en relación al fantasma. El plano que pasa a través de los dos puntos de referencia de las orejas y del punto M es definido como el plano de referencia, y contiene la línea B-M (ver Figura 4). La sección transversal del archivo CAD dada por el plano de referencia está dado en la Figura 3. Esta vista está reducida por un factor de 1.3 de la talla real de 26 cm x 18 cm. ] (IEC 62209-1: 2005 5.2.3, pág. 39)



**Figura 3 – Vista de la sección del MAE contenida por el plano de referencia al cual pertenece la línea B-M. (IEC 62209-1: 2005 5.2.3, pág. 41)**



#### Leyenda

- B Punto final de la línea B-M de la frente (para información solamente – marca en el fantasma no es requerida)
- F Punto final de la línea N-F (para información solamente – marca en el fantasma no es requerida)
- N Punto final de la línea N-F (para información solamente – marca en el fantasma no es requerida)
- M Punto de referencia de la boca
- RE Punto de referencia del oído derecho (ERP)

NOTA: el modelo de cabeza completa es solo para propósitos de ilustración, los procedimientos dados en esta norma provienen del fantasma de la Figura 2. (IEC 62209-1: 2005 5.2.3, pág. 43)

**Figura 4 – Vista de lado del fantasma mostrando marcas relevantes.**

#### 5.2.4 Propiedades del líquido equivalente de tejido

(IEC 62209-1: 2005 5.2.4, pág. 43)

##### 5.2.4.1 Propiedades dieléctricas

Las propiedades dieléctricas del líquido usado en el fantasma están listadas en la Tabla 1. Para las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido de la cabeza a otras frecuencias dentro del rango se debe usar un método de interpolación lineal. Ejemplos de fórmulas para los líquidos que tienen sus parámetros definidos en la Tabla 1 están dados en el Anexo G.

Los parámetros dieléctricos del tejido son dependientes de la frecuencia. Diferencias en valores publicados para las propiedades dieléctricas del tejido son debido a diferentes métodos de medición, temperaturas de los tejidos, efectos de envejecimiento de los tejidos, etc.

La adopción del uso estandarizado de los tejidos equivalentes para los materiales de los fantasmas (líquidos), minimiza la incertidumbre en la medición de TAE. Los fantasmas pueden usar materiales de tejidos como el gel, líquido o sólido. Los líquidos usados como material para los fantasmas deben tener una baja viscosidad para prevenir un impedimento de movimiento de la sonda del campo-E.

**Tabla 1 – Propiedades dieléctricas del líquido equivalente del tejido de la cabeza**  
 (IEEE 1528: 2003 Tabla 2, pág. 36)

Frecuencia (MHz)	Permitividad relativa ( $\epsilon_r'$ )	Conductividad ( $\sigma$ ) (S/m)
300	45.3	0.87
450	43.5	0.87
835	41.5	0.90
900	41.5	0.97
1450	40.5	1.20
1800-2000	40.0	1.40
2450	39.2	1.80
3000	38.5	2.40

**5.2.4.2 Caracterización de las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido.** Toda la subcláusula 5.2.4.2 proviene de (IEEE 1528: 2003 5.2.2, 35)

Para una permitividad dada, la TAE es directamente proporcional a la conductividad del tejido. Debido a que las propiedades dieléctricas varían con la temperatura, los tejidos del fantasma son usualmente desarrollados para tener propiedades dieléctricas a temperaturas del cuarto ( $18^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ ) que son las mismas que los tejidos a la temperatura del cuerpo humano ( $37^{\circ}\text{C}$ ). En el rango de frecuencia de las microondas, el incremento en la conductividad para un alto contenido de agua en el tejido es de 2 % por grado celsius, mientras que la permitividad decrece un 0.5 % por grado celsius.

Los materiales del tejido equivalente como el líquido o el gel pueden ser caracterizados usando una línea ranurada, prueba coaxial, o técnicas de línea TEM. Estos deben ser caracterizados periódicamente (al menos en las 24 horas antes de cualquier prueba de TAE completa) para asegurar que los parámetros dieléctricos están en el rango de  $\pm 5\%$  y que no ocurra una excesiva evaporación.

La variación de temperatura en el líquido durante las mediciones de TAE, deben estar dentro de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  una vez que las propiedades del líquido dieléctrico fuesen caracterizadas. El Anexo H describe las técnicas recomendadas para las mediciones de las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido.

**5.3 Especificaciones del equipamiento de medición de TAE**

(IEC 62209-1: 2005 5.3, 45)

**5.3.1 Requerimientos generales**

El equipamiento de medición debe ser calibrado como un sistema completo. La sonda será calibrada junto con un amplificador idéntico o técnicamente equivalente, equipo de medición y sistema de adquisición de data. El equipamiento de medición debe ser calibrado en cada líquido equivalente de tejido a la frecuencia apropiada de operación y temperatura, de acuerdo con la metodología descrita en el Anexo H. Se permite la calibración de la sonda separadamente del sistema, siempre que las

condiciones de carga del conector de la sonda estén especificadas e implementadas durante las mediciones.

El límite de detección más bajo requerido es [10 mW/kg] (IEEE 1528: 2003 1.3, pág 3), y el límite máximo mayor que 100 W/kg. La linealidad debe estar dentro de  $\pm 0.5$  dB sobre el rango de TAE desde 0.1 W/kg hasta 100 W/kg. El diámetro del envoltorio de la sonda no debe exceder los 8 mm en la vecindad de los elementos del dipolo.

Comentarios: Para el estándar IEEE 1528: 2003 el límite de detección mínimo debe ser menor que 0,01 W/kg (Pág. 72, A.4) y la IEC 62209-1: 2005 recomienda que el límite de detección mínimo debe ser menor que 20 mW/kg (Pág. 45, 5.3). En este caso se adopta el límite de detección mínimo dado por la IEEE 1528: 2003, ya que esta a su vez cumple con la norma IEC 62209-1: 2005. De igual manera, el rango de linealidad de la sonda en IEEE 1528: 2003 es de 0.4 W/kg – 100 W/kg, en la IEC 62209-1: 2005 el rango es desde 0.01 W/kg – 100 W/kg. Tomando el rango de la norma IEC 62209-1: 2005, se cumple con la norma IEEE 1528: 2003. Para ambas normas el diámetro máximo es el mismo (IEEE 1528: 2003, 1.3, pág. 3).

### 5.3.2 Sonda de campo eléctrico (campo-E) y electrónica de lectura

Toda la subcláusula 5.3.2 proviene de (IEEE 1528: 2003 4, 20)

#### 5.3.2.1 Introducción (IEEE 1528: 2003 4.1, 20)

Esta subcláusula describe la instrumentación para la evaluación de TAE local en las envolturas de los fantasmas llenos con líquido equivalente de tejido usando mediciones de campo-E. Son descritas las desviaciones de un desempeño ideal de las sondas de campo-E y electrónica asociada, así como su efecto en la incertidumbre de la evaluación del pico espacial promedio de TAE. Los procedimientos recomendados para la calibración de la sonda de campo-E en los líquidos equivalentes de tejido y evaluación de la incertidumbre de la calibración están descritos y explicados en detalles en el Anexo B.

Sondas de campo-E miniatura equipadas con tres sensores dipolos ortogonales cargados con diodos detectores son normalmente usados en sistemas dosimétricos, diseñados para la medición del TAE local de equipos de baja potencia para satisfacer los requerimientos. El alcance de esta norma está limitada a evaluar equipos inalámbricos de baja potencia. Sin embargo, la mayoría de las descripciones de las técnicas empleadas por las sondas de campo-E deben ser válidas para mediciones usando otros tipos de sensores de campo-E.

#### 5.3.2.2 Requerimientos de la sonda de campo-E (IEEE 1528: 2003 4.2, 20)

En el campo cercano de un equipo inalámbrico, las distribuciones del campo EM pueden tener variaciones espaciales importantes tanto en magnitud como polarización. De esta manera, la sonda ideal para la medición de TAE debe ser mucho más pequeña que la longitud de onda en un líquido equivalente de tejido, debe ser isotrópica, exhibir una respuesta lineal al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico incidente, y debe ser transparente (sin perturbar) al campo medido. En la práctica, la sonda de campo-E consiste en un conjunto de tres diminutas antenas dipolos mutuamente ortogonales alimentadas en el centro. La magnitud del vector de campo-E es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las tres componentes ortogonales medidas por los sensores como se muestra en la ecuación:

$$|E| = \sqrt{|E_1|^2 + |E_2|^2 + |E_3|^2}$$

Cada sensor de prueba consiste de los siguientes componentes:

- Una antena dipolo eléctricamente corta.
- Un diodo detector en el punto de alimentación del dipolo.
- Un soporte dieléctrico mecánico y otro altamente resistivo.
- Transparencia RF.
- Línea de transmisión diferencial (línea de alimentación) para extraer la señal detectada por el diodo mientras se mantiene la transparencia RF de la línea.

Para señales RF pequeñas, un diodo detector ideal opera en la región de la ley del cuadrado ofreciendo un voltaje de salida rectificado que es proporcional al valor r.m.s de la componente de campo-E correspondiente. La sonda en si misma consiste de tres sensores y tiene tres puertos de salida, cada uno proveyendo un voltaje DC de baja frecuencia como resultado del filtrado realizado por la línea de alimentación resistiva, la cual actúa como un filtro pasa bajo con distribución R-C a la salida rectificada de los sensores. La magnitud del campo-E es mostrado en la siguiente ecuación:

$$|E| = \sqrt{\frac{V_1^2}{\gamma_1} + \frac{V_2^2}{\gamma_2} + \frac{V_3^2}{\gamma_3}}$$

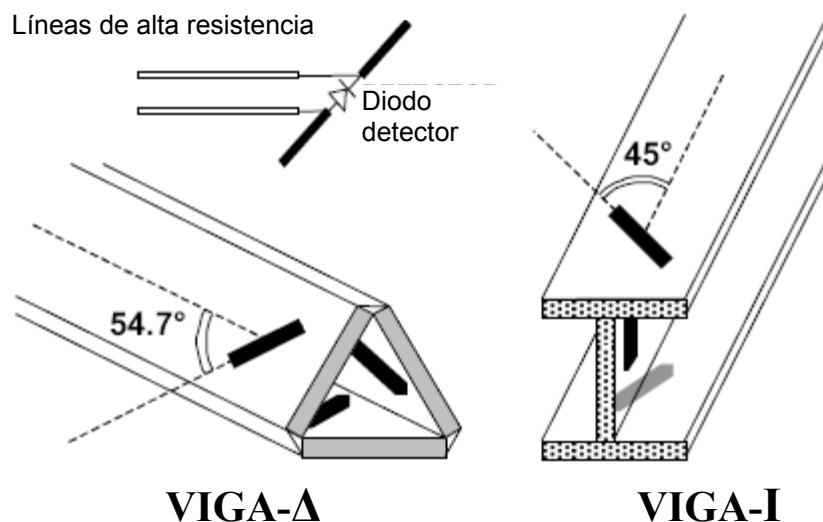
donde

$V_i$  es el voltaje de circuito abierto en volts [V];

$\gamma_i$  es la sensibilidad en el puerto  $i$ , ( $i = 1, 2, 3$ ) en  $\mu\text{V}/(\text{V}/\text{m})^2$ .

Una cubierta dieléctrica (típicamente un cilindro de plástico de baja pérdida) encapsula la sonda para protección química y mecánica. La Figura 5 muestra algunas características relevantes de la sonda de campo-E.

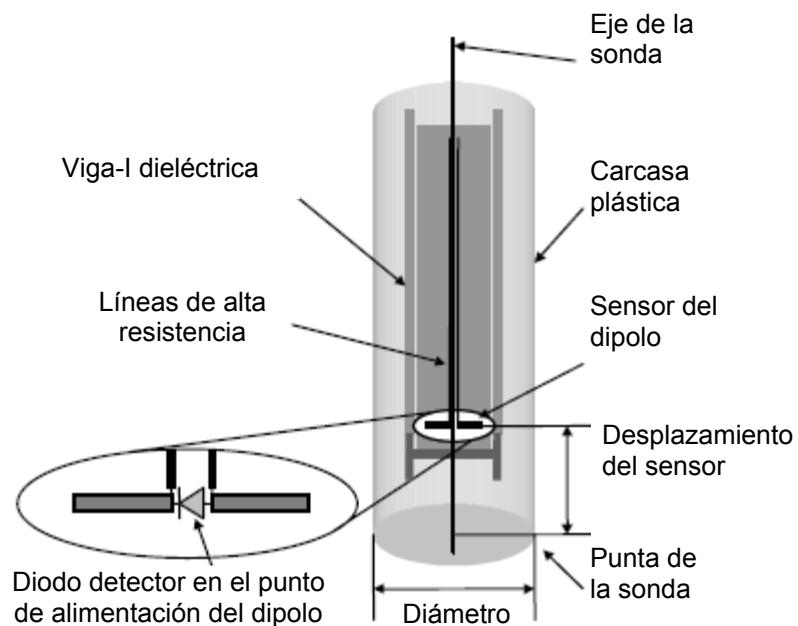
### SENSOR DEL DIPOLO



**Figura 5 - Construcciones típicas de las sondas de campo-E. Una "viga-Δ" (o "viga triangular") o una "viga-I", son las estructuras dieléctricas que soportan los tres sensores mutuamente ortogonales de los dipolos.**

La respuesta de la sonda diseñada para la medición de TAE puede desviarse de los requerimientos ideales. Los materiales de construcción de la sonda, el tamaño, y el desplazamiento físico a lo largo de los dipolos así como las tolerancias de manufacturación influyentes en el acoplamiento del campo de los sensores. Varios factores pueden producir desviaciones de la respuesta lineal ideal, incluyendo el comportamiento no lineal del sensor, efectos de carga y el campo captado por las líneas resistivas, así como de otros acoplos espurios. Como consecuencia, la salida de la sonda depende no solo de la intensidad de campo local, sino también de otros factores que son relacionados a la fuente o el montaje de medición incluyendo:

- Polarización del campo y dirección de incidencia.
- Gradientes locales del campo en la proximidad del punto de medición donde los sensores están localizados.
- Propiedades dieléctricas del medio y fronteras del medio en la proximidad de la sonda.
- Frecuencia, modulación, y nivel de potencia de la fuente.
- Fuentes de campos interferentes, por ejemplo, ruido, campos estáticos, campos de frecuencia extremadamente baja (ELF), etc., del ambiente y equipos cercanos.
- Otras influencias físicas, por ejemplo, temperatura, etc., que podría cambiar el desempeño de la sonda.



**Figura 6 - Características de la sonda de campo-E. El desplazamiento del sensor es medido desde el centro geométrico del sensor hasta la punta de la cubierta de la sonda. El desplazamiento del sensor es medido desde el punto de alimentación del dipolo hasta el eje de la sonda.**

La sensibilidad de la salida de la sonda respecto a esos factores deben ser conocidos para determinar la

incertidumbre de medición y calibración. Las desviaciones entre las mediciones, las configuraciones y condiciones de calibración incrementaran la incertidumbre de medición. La calibración debe ser precedida por una caracterización completa de la sonda independientemente del sistema de medición, para evaluar la respuesta de la sonda sobre los factores anteriormente nombrados. Será necesario también calibrar la sonda en diferentes líquidos equivalentes de tejido. Cada calibración debe indicar el rango de los parámetros (permitividad, conductividad, frecuencia, temperatura) para la cual la incertidumbre evaluada de la sonda es válida. Algunos de los factores influyentes nombrados anteriormente pueden ser parcialmente compensados en la salida del sistema de medición con técnicas como filtrado, compensación de frecuencia, y linealización de la respuesta del diodo. Los efectos de otros factores pueden ser reducidos usualmente siguiendo los procedimientos de medición, por ejemplo, mediciones repetidas, o alineando el sensor de la sonda con el vector de campo-E (IEEE Std 1309-2005 [21]). Sin embargo, esas técnicas no están descritas en esta norma debido a que su uso no es requerido típicamente para llevar a cabo las pruebas de TAE.

Debido a la alta resistividad de las líneas y al uso de diodos de detectores imparciales, las impedancias típicas de la fuente de sondas miniatura de campo-E pueden ser desde cientos de  $k\Omega$  hasta varios  $M\Omega$ . La tensión de salida en el conector de la sonda es dependiente de la impedancia de entrada y las condiciones de imparcialidad de la instrumentación para amplificar en la electrónica de lectura, las cuales pueden influenciar la sensibilidad de la sonda, respuesta dinámica y errores de desplazamiento del voltaje.

Dos diferentes aproximaciones son recomendados para la calibración y caracterización de la sonda:

- Calibración y caracterización de la sonda junto con la electrónica de lectura y el sistema de post-procesamiento. Esto es preferible si la sonda es usada solamente en un sistema en específico. Si la sonda es calibrada con diferentes dispositivos de electrónica de lectura, las variaciones de la manufacturación que resultan en diferencias en las características de entrada de unidad en unidad, deben ser consideradas en la evaluación de la incertidumbre. Siempre y cuando una sonda de campo-E sea calibrada con su instrumentación asociada y la electrónica de lectura, se sugiere que el desempeño de la salida de la sonda sea evaluado con y sin el sistema de procesamiento y compensación, de tal manera que las características de la sonda sean conocidas explícitamente (ver paso 2.)
- Calibración y caracterización de la sonda sin la electrónica de lectura y sistema de post-procesamiento, es decir, en el conector de la sonda. Las características de entrada aceptables para la electrónica de lectura deben ser especificadas, así como en el rango de intensidades de campo eléctricos usados durante la calibración y caracterización. La sonda puede entonces ser usada en cualquier sistema que sea compatible con esas características. Desviaciones en las características de entrada así como en todos los errores introducidos por la instrumentación deben ser consideradas en el análisis de incertidumbre (Ver 5.3.2.4).

En las siguientes subcláusulas, las características de la sonda de campo-E y las posibles fuentes de incertidumbre son descritas. Los mecanismos que producen acoplamiento de campos externos con el sensor de la sonda bajo diferentes condiciones de medición, así como para evaluar el error y criterio para estimar la incertidumbre de calibración son discutidas. Los procedimientos de prueba para evaluar las características de la sonda y estimado de incertidumbres de calibración asociadas con cada característica esta dado en el Anexo B. Finalmente, dos diferentes técnicas de calibración de sondas,

transferencia de temperatura y método de guía de ondas, son discutidas y los procedimientos son explicados en el Anexo B.

### **5.3.2.2.1 Isotropía de la sonda de campo-E, errores de isotropía y procedimientos de evaluación (IEEE 1528: 2003 4.2.1, 23)**

La isotropía es una característica deseada de la sonda de campo-E que le permite responder igualmente a los campos incidentes independientemente de la dirección de incidencia y polarización. Los dos componentes de la isotropía son los siguientes:

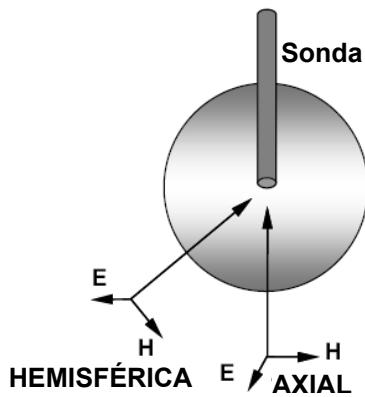
- a) Isotropía axial.
- b) Isotropía hemisférica.

La desviación de la respuesta ideal puede resultar de un número de causas incluyendo las siguientes:

1. Variaciones en la construcción de la sonda de la configuración del diseño ideal.
2. Respuestas desiguales de los sensores individuales, por ejemplo, sensibilidad del diodo.
3. Perturbación asimétrica del campo debido a la construcción asimétrica de la cubierta de la sonda o soporte mecánico del sensor.
4. Desplazamiento de los sensores respecto al eje de la sonda.
5. Señal captada por las líneas de alimentación, las cuales pueden depender del ángulo de incidencia y la polarización del campo.

Las propiedades dieléctricas del medio que lo rodea tiene una fuerte influencia sobre la deflexión del campo en el borde de la sonda, y por lo tanto, la isotropía de la sonda debe ser determinada dentro de un medio dieléctrico específico para el cual va a ser usado. Dependiendo del montaje a ser usado, este es llevado a cabo realizando mediciones de campo-E mientras se lleva a cabo algunos o todos los pasos siguientes:

- i) Rotar la sonda sobre su eje longitudinal.
- ii) Rotar la dirección de propagación del campo desde paralelo al eje de la sonda (incidencia frontal) hasta normal al eje de la sonda (incidencia lateral).
- iii) Rotar la polarización del campo desde normal hasta paralela al plano de incidencia por el eje de la sonda y la dirección del campo incidente (esta definición no es apropiada cuando la dirección de incidencia es a lo largo del eje de la sonda; en este caso, la rotación de la sonda reemplaza la rotación de la polarización del campo).



**Figura 7 - Representación esquemática de la isotropía axial y hemisférica de la sonda.**

#### 5.3.2.2.2 Prueba de resolución espacial (IEEE 1528: 2003 4.2.2, 24)

Es la habilidad para discriminar entre dos picos de TAE cercanos. Los procedimientos para medir la resolución espacial de un campo-E están dados en el Anexo B.8.

#### 5.3.2.2.3 Efectos de frontera (IEEE 1528: 2003 4.2.3, 25)

Este efecto aparece cuando la extremidad de un campo-E se aproxima a la interfaz entre dos medios dieléctricos, bajo esas condiciones el campo externo es fuertemente perturbado por la superposición de un campo disperso desde la sonda. El efecto de frontera en los valores de pico espacial promedio depende de las dimensiones de la sonda, materiales y procedimientos de medición usados en el sistema incluyendo los siguientes:

1. Distancia entre la punta de la sonda y la superficie del fantasma o interfaz del medio.
2. Algoritmo de extrapolación usado para determinar la TAE en la superficie del fantasma.
3. Frecuencia, gradientes de campo y disminución del campo en el medio, en el lugar de las mediciones.
4. Volumen promediado (1 g o 10 g).
5. Implementación opcional de rutinas de compensación para reducir los bordes de efecto.

Un montaje para determinar el efecto de frontera está descrito en B.6. Este consiste en una guía de onda rectangular parcialmente llena con líquido equivalente de tejido que es separado de la porción llena con aire con un trozo de dieléctrico de impedancia acoplada. Alternativamente, una configuración con fantasma plano/dipolo puede ser empleado.

Las simulaciones por computadora y mediciones muestran que en las envolturas de los fantasma llenos con líquidos equivalentes de tejidos, el error debido al efecto de frontera es típicamente menor que el 2 % si la distancia entre la punta de la sonda y la superficie es mayor que la mitad del diámetro de la sonda. Para distancias más cortas, el efecto de frontera produce un fuerte incremento en la sensibilidad de la sonda, hasta un 50 % cuando la cubierta de la sonda está en contacto plano con la superficie. Los errores pueden ser reducidos si la punta de la sonda es mantenida a distancias de un diámetro de sonda o más. Los efectos de frontera pueden ser evaluados por comparación con la respuesta de una sonda teniendo el diámetro de la punta mucho menor. En la práctica, hay un

compromiso entre el incremento de la distancia para reducir el efecto de frontera y el incremento del error de extrapolación resultante (ver 7.2.4).

### 5.3.2.3 Características de la electrónica de lectura de la sonda (IEEE 1528: 2003 4.3, 26)

La salida de la sonda es procesada por la electrónica de lectura y la instrumentación asociada que combina los voltajes del sensor de la sonda para proveer una salida que es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo-E incidente en los sensores. Las desviaciones respecto al comportamiento ideal del diodo detector es determinado durante la calibración de la sonda y es compensado durante las mediciones. Los errores que pueden ser encontrados durante la calibración de la sonda y del sistema pueden ser compensados en todas las mediciones incluyendo lo siguiente:

- Diferencias entre las sensibilidades de los sensores.
- Desviación de la linealidad de la respuesta del sensor con el incremento de la intensidad del campo eléctrico incidente.

Si dicha compensación es usada, la evaluación de la incertidumbre de la medición de la sonda debe ser realizada con las rutinas de procesamiento y compensación incluidas.

#### 5.3.2.3.1 Linealidad de la sonda (IEEE 1528: 2003 4.3.1, 26)

Los diodos detectores en el punto de alimentación del dipolo son usados para rectificar la salida del sensor del voltaje. La señal rectificada es transmitida a través de líneas resistivas (transparentes RF) al sistema de medición de voltaje. A bajos niveles de intensidad del campo la salida del voltaje es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo incidente; a niveles de señal superiores, la salida de voltaje no es linealmente proporcional a  $E^2$ , pero se vuelve proporcional a E. Un punto de cruce típico para la salida de voltaje rectificado de los diodos Schottky de silicio de barrera baja, es alrededor de 100 mV, pero inclusive a 3 mV la desviación de la respuesta de ley cuadrática es mayor que 0.1 dB.

La compresión del diodo puede llevar a una subestimación de la TAE real en condiciones de alta intensidad de campo y debe ser compensada con un algoritmo de linealización aplicado a cada detector de señal antes de cualquier evaluación. La calibración de la sonda a diferentes niveles de potencia pueden no ser suficiente, de tal manera que el total del error depende de como la señal de salida es distribuida a lo largo de los tres sensores. Por ejemplo, el mismo campo podría producir una diferente lectura si es detectado por un solo sensor comparado con la detección de todos los sensores.

Para señales moduladas por pulsos, la compensación de la compresión del diodo debe ser llevada por una señal temporal y la salida debe ser la modulación en amplitud. Puesto que las líneas resistivas y la capacitancia amplificadora actúan como un filtro pasa bajo con frecuencias de corte típicamente entre 10 Hz y 1 kHz (ancho de banda del vídeo), la envolvente de la modulación de la señal en la entrada del amplificador puede ser atenuada. Si el sistema mide una señal promediada en el tiempo que está por debajo del nivel de compresión del diodo, los picos de una señal modulada pueden estar aun por encima de este nivel. Varios algoritmos pueden ser usados para compensar la compresión del diodo<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> La compensación para la compresión del diodo puede ser realizada en distintas maneras. Si el ancho de banda de vídeo del sistema es lo suficientemente grande, de tal manera que el voltaje en la entrada del amplificador sigue la envolvente de modulación de la señal RF, entonces el algoritmo de linealización puede ser aplicado muestra por muestra. Si

El uso de polinomios es una buena manera de linealizar, aunque en algunos casos el uso de funciones curvilíneas puede ser necesario.

El “efecto de pico detector” inherente de los diodos es otro efecto no lineal que existe solo con señales de amplitud modulada. La impedancia no lineal del diodo convierte la sonda de un promedio a un detector de pico para señales pulsadas de alta potencia, rectificando la señal y cargando la capacitancia del amplificador. Un incremento en la impedancia de la línea resistiva puede minimizar el efecto del pico detector reduciendo la dependencia de las características de temporización de señal detectada en la impedancia variable de la fuente del diodo.

Los errores de linealidad son detectados en la salida de voltaje del sensor respecto a la respuesta de una curva de potencia promedio. La evaluación debe ser llevada a cabo con todos los procedimientos de compensación usados en el sistema de medición activado. Esto puede ser hecho en cualquier montaje en aire o líquido a partir de que la respuesta dinámica es en función de la salida de tensión únicamente. Cada canal del sensor debe ser caracterizado sobre el rango de tensión de salida desde debajo de la compresión del diodo hasta el máximo voltaje del sensor que corresponda a un máximo de TAE de 100 W/kg. Las modulaciones siguientes deben ser probadas y documentadas en el certificado de calibración:

- a) Señales de ondas continuas (amplitud y frecuencia constante) por encima a un equivalente de TAE de 100 W/kg.
- b) Señales pulsadas con un factor de trabajo de 1:10 y una tasa de repetición de 11 Hz hasta un equivalente de TAE de 100 W/kg (baja tasa de repetición).
- c) Señales pulsantes con un factor de trabajo de 1:25 y una tasa de repetición de 1 kHz hasta un equivalente de TAE de 100 W/kg (alta tasa de repetición).

Las mediciones de OC que están por debajo del umbral de compresión del diodo deben ser extrapoladas linealmente hasta cubrir el total del rango de potencia usado en las mediciones. Esto da una respuesta lineal ideal para el sensor. El máximo error de no linealidad de la sonda, es la máxima diferencia de la data medida de esta respuesta lineal ideal. Cualquier diferencia en la sensibilidad de la sonda para las señales moduladas por pulsos y OC son incluidos en este error.

#### **5.3.2.3.2 Error de offset (IEEE 1528: 2003 4.3.2, 27)**

Los errores que son generados por el diodo detector de la sonda, el sistema de post detección y por la situación específica del ambiente, pueden traducirse típicamente en un voltaje de offset a la salida de la sonda, los cuales pueden ser divididos en diferentes tipos de contribuciones.

Errores de offset asociados con la sonda solamente incluyen lo siguiente:

- a) Ruido térmico asociado con la resistencia incremental del diodo, líneas de alta resistencia de la

---

el ancho de banda de vídeo es muy angosto de tal manera que la envolvente de modulación no puede ser reproducida en la entrada del amplificador, entonces una información respecto a la modulación, por ejemplo, su factor de trabajo, debe ser incorporada en el algoritmo de linealización. Una excepción notable a esto ocurre para señales CDMA, donde el ancho de banda de la envolvente de modulación es mucho más grande que el ancho de banda de un típico sistema de vídeo. En este caso, los mismos parámetros de linealización usados para señales de OC pueden ser empleados.

- sonda, alta impedancia de entrada de la electrónica (1-3  $\mu$ V p-p desde 0.1 Hz hasta 10 Hz).
- Efectos fotovoltaicos en los diodos detectores en puntas de sondas transparentes (varios  $\mu$ V).
  - Voltajes generados químicamente por impurezas en líneas resistivas y conexiones (0-100  $\mu$ V).
  - Cargas estáticas formadas por mover la sonda en el líquido equivalente de tejido (hasta 1  $\mu$ V).
  - Señales ELF recogidas en las líneas que son rectificadas por los diodos sensores.

Errores de offset asociados con la electrónica independiente de la sonda incluyen:

- Voltaje de offset de la entrada de los amplificadores; si la compensación del offset no es dada, la desviación del offset con el tiempo y temperatura puede volverse inaceptable.
- Rectificación y acople directo de señales RF del equipo bajo prueba, en la entrada del amplificador.

Errores de offset de la electrónica de lectura con la sonda incluyendo

1. Corrientes bias<sup>4</sup> de offset que fluyen a la entrada del amplificador a través de las líneas de resistencia de la sonda.
2. Rectificación de las señales RF de alta frecuencia de ambiente causadas por las no linealidades en la etapa de entrada de los amplificadores.
3. Señales de modo común en las líneas de la sonda convertida en modo diferencial debido a un modo de rechazo común de la entrada de los amplificadores o asimetrías en la entrada de la circuitería.
4. Señales de modo común en las líneas de las sondas son generadas por:
  - i. Acople conducido de baja frecuencia desde las líneas de potencia o motores de posicionamiento.
  - ii. Diferentes potenciales de tierra entre el posicionador y la fuente (lazos de tierra).
  - iii. Interferencia conducida, inducida en las líneas de alimentación de corriente alterna proveniente del sistema de evaluación de data (computadora de control de prueba).

Muchas de esas contribuciones de offset dependen fuertemente del montaje del sistema y del ambiente, y cuando se combinan es difícil identificar cada contribución individualmente o predecir el offset en un ambiente específico. Por lo tanto, el offset debe ser determinado en la configuración real del sistema de medición con todos los componentes en uso y sin los campos RF o potencia proveniendo del equipo de prueba (fuente RF) de tal manera que pueda ser parcialmente compensado por el sistema. Mientras la señal rectificada sea siempre unipolar, el offset puede ser bipolar.

El sistema de offset es evaluado con el montaje de verificación (*chequeo del sistema*) de 9.2. Partiendo de que el efecto del offset es independiente de la frecuencia, éste puede ser determinado a una sola frecuencia, por ejemplo, en el canal de banda media de un equipo de prueba. La entrada de potencia del dipolo es variado de tal manera que el valor de TAE local en la sonda corresponda aproximadamente 1, 0.5; 0.2; 0.1; 0.05; 0.02; 0.01 W/kg. Los efectos de offset son más importantes a niveles bajos de la señal. Si la desviación de la linealidad a 0.01 W/kg es menor que el 20 %, los errores debido a la compensación de la electrónica de lectura puede ser asumida como despreciable. De otra manera, el

---

<sup>4</sup> Bias (de un detector de radiación), es el voltaje aplicado a un detector para producir un campo eléctrico requerido con el fin de colectar cargas eléctricas. IEC 60050, número IEV 394-38-67

error de offset y estadísticas (valor medio y desviación estándar) son evaluados realizando varias mediciones de TAE con una fuente RF.

#### 5.3.2.4 Calibración de la sonda (IEEE 1528: 2003 4.4, 28)

La respuesta del sensor de la sonda depende de los parámetros dieléctricos del medio que lo rodea y la frecuencia de la señal, por lo tanto esta debe ser calibrada en medios equivalentes a los que será usado por los líquidos equivalentes de tejido y en las frecuencias de operación del equipo a ser medido. El procedimiento de calibración de la sonda está descrito en el Anexo B de esta norma.

La intensidad del campo durante la calibración debe ser cuidadosamente determinada. Esto puede ser hecho por:

- Mediciones con sondas de campo calibradas (método de transferencia).
- Determinando la TAE por mediciones de temperatura.
- Mediciones de potencia RF de entrada llevando a valores de campo analíticos al punto de calibración bajo condiciones específicas experimentales, por ejemplo, una guía de onda rectangular.

La calibración de la sonda sólo es válida cuando es usada con sistemas de adquisición de datos que tienen las mismas características de entrada.

##### 5.3.2.4.1 Procedimientos recomendados para la calibración de la sonda (IEEE 1528: 2003 4.4.1, 29)

Hay dos métodos para la calibración de la sonda: térmica y por guía de ondas, cada una recomendada para cierto rango de frecuencias que están mostrados la Tabla 2.

**Tabla 2 – Procedimientos recomendados para la calibración de sondas**

Frecuencia	Procedimiento
< 800 MHz	Térmica <sup>a</sup>
≥ 800 MHz	Guía de ondas <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Si una guía de onda de calibración grande está disponible, calibración analítica es preferible.

<sup>b</sup> Cuando la guía de onda no esté disponible para una frecuencia específica, la calibración térmica es empleada.

(IEEE 1528: 2003 4.4.1, 29)

##### 5.3.2.4.2 Rango de validez de la calibración de la sonda (IEEE 1528: 2003 4.4.1.1, 29)

La sonda debe estar calibrada en un líquido específico equivalente de tejido y a una frecuencia específica. Los parámetros de calibración derivados son rigurosamente válidos sólo a esa frecuencia y para esos parámetros de tejido en particular. Sin embargo, debido a la corta longitud eléctrica de los dipolos sensores, los factores de calibración son usualmente insensibles a la frecuencia, es decir, ellos cambian muy lentamente con la frecuencia de la señal RF. Más aun, la dependencia de dichos factores de calibración de la frecuencia, son normalmente lentos y predecibles. Por esta razón, es aceptable definir una frecuencia limitada y unos rangos para los parámetros del líquido dentro de los cuales los

factores de calibración son aplicables. En particular, es recomendado que la información sea proveída en el certificado de calibración para substanciar el rango de validez de la calibración y las incertidumbres asociadas.

#### **5.3.2.4.3 Ambiente de calibración (IEEE 1528: 2003 4.4.1.2, 30)**

Las condiciones ambientales definidas en la subcláusula 5.1 deben ser mantenidas durante la calibración de la sonda.

#### **5.3.2.5 Trazabilidad de la calibración de la sonda (IEEE 1528: 2003 4.4.2, 30)**

Todos los instrumentos de prueba usados para la calibración, por ejemplo, generadores RF, medidores de potencia, voltímetros, sensores de temperatura y el equipamiento usado para caracterizar los parámetros del tejido, deben estar dentro del rango de precisión de calibración recomendado por el fabricante. La documentación debe estar disponible mostrando que las calibraciones de los instrumentos son trazables para instituciones nacionales o internacionales de metrología.

### **5.4 Especificaciones del sistema de barrido**

#### **5.4.1 Requerimientos generales**

Toda la subcláusula 5.4.1 proviene de (IEC 62209-1: 2005 5.4.1, 45)

El sistema de barrido que sostiene la sonda debe poder escanear todo el volumen expuesto del fantasma para evaluar la distribución tridimensional de TAE. Su estructura mecánica no debe interferir con las mediciones de TAE. El sistema de barrido debe estar correlacionado con el fantasma usando al menos tres puntos de referencia sobre el fantasma, con esos puntos definidos por el usuario o fabricante del sistema.

#### **5.4.2 Precisión**

(IEC 62209-1: 2005 5.4.2.1, 45)

La precisión de posicionamiento de la punta de la sonda sobre el área de medición debe ser mejor que  $\pm 0.2$  mm.

#### **5.4.3 Resolución de posicionamiento**

(IEC 62209-1: 2005 5.4.2.2, 45)

La resolución de posicionamiento es el incremento para el cual el sistema de medición está habilitado para realizar mediciones. La resolución de posicionamiento debe ser de 1 mm o menos.

### **5.5 Especificaciones del dispositivo de soporte**

(IEC 62209-1: 2005 5.5, 45)

El dispositivo de soporte permitirá posicionar al equipo bajo prueba de acuerdo a las definiciones dadas en 6.1.4 con una tolerancia de  $\pm 1^\circ$  en el ángulo de inclinación. Debe ser hecho de un material de baja pérdida y baja permitividad: permitividad relativa  $\leq 5$  y una tangente de pérdida  $\leq 0.05$ . Las incertidumbres serán estimadas siguiendo los procedimientos descritos en 7.2.2.4.2.

Comentario: El estándar IEEE 1528: 2003 no especifica una tolerancia para este dispositivo pero coincide en el tipo de material del cual debe estar hecho y sus pruebas para confirmar que este no altera la medición de TAE (pág. 34, 5.1.5).

Para confirmar que los resultados de TAE no están siendo alterados por dispositivo de soporte, una prueba sustituta debe ser hecha reemplazando el sostenedor con bloques de baja densidad y dieléctricos de baja permitividad, como por ejemplo la espuma de poliestireno o fijando el equipo de mano al fantasma usando una cinta adhesiva no conductiva (ver 7.2.2.4.1).

## 5.6 Medición de las propiedades dieléctrica del líquido

(IEC 62209-1: 2005 5.6, 46)

Las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido deben ser medidos a la temperatura y frecuencia relevante. Los parámetros dieléctricos deben ser evaluados y comparados con los valores dados en la Tabla 1 usando interpolación lineal. Los valores dieléctricos medidos, no los de la Tabla 1, deben ser usados en los cálculos de TAE. Esta medición debe ser realizada con los procedimientos descritos en el Anexo H.

# 6 PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DE TAE

## 6.1 Preparación de la medición

### 6.1.1 Preparación general

(IEC 62209-1: 2005 6.1.1, 47)

Las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido debe ser medido dentro de las 24 horas antes de las mediciones de TAE, a menos que el laboratorio pueda probar conformidad con largos intervalos, por ejemplo, mediciones semanales. Las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido debe ser medido a la misma temperatura en que las mediciones de TAE son efectuadas, con una tolerancia de  $\pm 2$  °C.

[ Los líquidos para la prueba de TAE deben estar mezclados para producir los valores estipulados en el ambiente actual, humedad y temperatura del laboratorio ] (IEEE 1528: 2003 5.3.1, 36). El líquido debe ser cuidadosamente removido antes de la medición, y debe estar libre de burbujas de aire.

- [ Para frecuencias en 300 MHz hasta los 2 GHz la conductividad y permitividad relativa debe ser  $\pm 5\%$  de los valores estipulados (ver H.7 para los procedimiento de evaluación de la incertidumbre de mediciones de los parámetros del líquido). ] (IEEE 1528: 2003 5.3.1, 36)
- Para frecuencias de 2 GHz a 3 GHz la conductividad medida debe ser  $\pm 5\%$  de los valores estipulados y la permitividad relativa tolerada no puede ser mayor que  $\pm 10\%$ , sin embargo, se deben hacer esfuerzos para lograr que los valores obtenidos sean los más cercanos posibles al valor estipulado. Efectos de desviación de la permitividad relativa del valor estipulado en la TAE debe ser incluido en la evaluación de la incertidumbre. ] (IEEE 1528: 2003 5.3.1, 36)

### 6.1.2 Chequeo del sistema

(IEC 62209-1: 2005 6.1.2, 49)

El *chequeo del sistema* debe ser realizado antes de hacer mediciones del equipo de mano de acuerdo a los procedimientos de la cláusula 9. Esta es una prueba de repetibilidad para asegurar que el sistema trabaja correctamente mientras la prueba se lleve a cabo. El *chequeo del sistema* debe ser realizado para detectar posibles derivas sobre cortos períodos de tiempo y otras incertidumbres en el sistema, tales

como:

- Cambio en los parámetros del líquido, por ejemplo, debido a la evaporación del agua o cambios de temperaturas.
- Fallas en los componentes.
- Derivas en los componentes.
- Errores del operador en la configuración (set-up) o en los parámetros del software.
- Condiciones adversas en el sistema, por ejemplo, interferencia RF.

Nota: Los términos “*chequeo del sistema*” y “*validación del sistema*” están italicizados porque ellos se refieren a protocolos específicos de prueba descritos para los propósitos de este estándar.

El chequeo del sistema es una medición completa de TAE promedio en 1 g o 10 g. El valor de la medición de TAE promedio de 1 g o 10 g es normalizado a la entrada de potencia estipulada de una fuente estándar, y comparado con el valor previamente determinado de 1 g o 10 g correspondiente a la medición de frecuencia, la fuente estándar y el fantasma plano específico. La diferencia de los valores del sistema de chequeo previamente grabados debe estar dentro del  $\pm 10\%$ .

### **6.1.3 Preparación del equipo inalámbrico bajo prueba**

(IEC 62209-1: 2005 6.1.3, 49)

Los equipos inalámbricos probados deben usar su transmisor interno. La(s) antena(s), batería y accesorios deben ser especificados por el fabricante. La batería debe estar completamente cargada, la salida de potencia del equipo y el canal de frecuencia deben ser controlados por un programa interno o por un simulador de estación base (BSS) y operar en condiciones normales. El equipo inalámbrico debe ser colocado a su más alto nivel de potencia al momento de realizar las mediciones.

Si la prueba es realizada con prototipos, debe ser verificada que la versión comercial tenga exactamente las mismas características eléctricas y mecánicas que el prototipo probado. Si esto no puede ser garantizado, se deben repetir las pruebas con un modelo comercial no modificado.

### **6.1.4 Posición del equipo inalámbrico respecto al fantasma**

#### **6.1.4.1 Consideraciones generales**

(IEC 62209-1: 2005 6.1.4.1, 49)

Esta norma especifica dos posiciones del equipo de prueba contra la cabeza del fantasma MAE – la posición “mejilla” y la posición “inclinada”. Estas dos posiciones están definidas a continuación. El equipo debe ser probado en esas posiciones en ambos lados (izquierdo y derecho) del fantasma MAE. Si el equipo de mano está construido de tal manera que los procedimientos descritos en 6.1.4.2 y 6.1.4.3 no pueden ser usados por no representar condiciones de uso normal, por ejemplo, algunos equipos asimétricos, procedimiento de alineación alternativos deben ser adoptados con todos sus detalles señalados en el reporte de la prueba. Esos procedimientos alternativos deben replicar las condiciones de uso normal tan próximo a la realidad como sea posible, de acuerdo a los procedimientos descritos en esta cláusula.

[ Las pruebas deben ser hechas con la antena completamente extendida y completamente retraída. ]  
(IEEE 1528: 2003 6.3.4.1, 42)

[ Otros factores pueden afectar la potencia de salida RF y deben ser probados, por ejemplo, antenas opcionales, paquetes de baterías opcionales que cambien el volumen, longitud, desempeño del equipo, etc. y cables conectados durante el uso normal, por ejemplo, equipos de manos libres. ] (IEEE 1528: 2003 6.3.4.2, 42)

Comentario: Las definiciones de las posiciones son las mismas en ambos estándares salvo algunas modificaciones. Con la enmienda IEEE 1528a-2005 se le realizan algunas modificaciones a estas definiciones coincidiendo aún más con la norma IEC 62209-1: 2005. Sin embargo para evitar recurrir a la enmienda se puede tomar las definiciones de la norma IEC 62209-1: 2005.

#### 6.1.4.2 Definición de la posición “mejilla”

(IEC 62209-1: 2005 6.1.4.2, 51)

La posición de la mejilla está establecida en los puntos a) a la i) como se indica a continuación:

- a) De ser necesario, colocar el equipo de mano en el modo de conversación, por ejemplo, para los equipos de mano con una pieza de cubierta (cubierta desplegable), abrir la cubierta. Si el equipo puede ser usado también con la cubierta cerrada, ambas configuraciones deben ser probadas.
- b) Definir dos líneas imaginarias en el equipo de mano, la línea central vertical y la línea horizontal, para el equipo de mano en orientación vertical como se muestra en la Figura 8a y 8b. La línea central vertical pasa a través de dos puntos por el lado frontal del equipo de mano: el punto medio del ancho  $wt$  del equipo de mano al nivel de la salida acústica (punto A en las figuras 8a y 8b), y el punto medio de  $wb$  del fondo del equipo de mano (punto B). La línea horizontal es perpendicular a la línea central vertical y pasa a través del centro de la salida acústica (ver figuras 8a y 8b). Las dos líneas son intersecadas en el punto A. Nótese que para muchos equipos de mano, el punto A coincide con el centro de la salida acústica. Sin embargo, la salida acústica puede estar localizada en cualquier otra parte de la línea horizontal. Y también nótese que la línea central vertical no es necesariamente paralela a la cara frontal del equipo de mano (ver Figura 8b), especialmente para equipos de mano con cubierta desplegable, con forma de concha y otras formas irregulares de equipos.
- c) Colocar el equipo de mano cercano a la superficie del fantasma hasta que el punto A esté sobre la extensión (virtual) de la línea pasando a través de los puntos RE y LE del fantasma (ver Figura 9). El plano definido por la línea central vertical y la horizontal del equipo debe ser paralelo al plano sagital del fantasma.
- d) Desplace el equipo hasta el fantasma a lo largo de la línea pasando a través de RE y LE hasta que el equipo toque la oreja.
- e) Rotar el equipo de mano a lo largo de la línea LE-RE (virtual) hasta que la línea central vertical del EBP esté en el plano de referencia.
- f) Rotar el equipo alrededor de su línea central vertical hasta el plano definido por la línea central vertical del EBP y la línea horizontal esté paralela a la línea N-F, luego trasladar el equipo hasta el fantasma a lo largo de la línea LE-RE hasta que el punto A del EBP toque la oreja en el ERP.
- g) Mientras se mantiene el punto A sobre la línea central vertical que pasa por RE y LE y manteniendo el equipo en contacto con el pabellón de la oreja, rotar el equipo sobre la línea N-F hasta que cualquier punto del equipo esté en contacto con un punto del fantasma debajo del pabellón (mejilla) (ver Figura

9). Los ángulos físicos de rotación deben ser documentados.

h) Mientras se mantiene el punto A del EBP en contacto con ERP, rotar el equipo alrededor de una línea perpendicular al plano definido por la línea central vertical del EBP y la línea horizontal y pasando a través del punto A del EBP, hasta que la línea central vertical del EBP esté en el plano de referencia.

i) Verificar que la posición de la mejilla sea correcta, conforme a la descripción dada a continuación:

- La línea N-F está en el plano definido por la línea central vertical y horizontal del EBP,
- El punto A del EBP toca el pabellón de la oreja en el ERP, y
- La línea central vertical del EBP está en el plano de referencia.

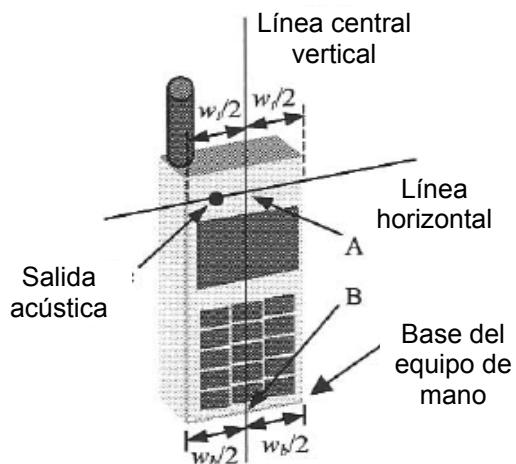


Figura 8a – Equipo típico de mecánica “fija”

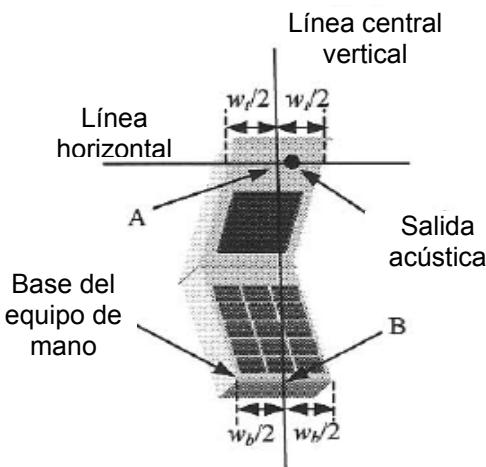


Figura 8b – Equipo típico con cubierta desplegable

Leyenda

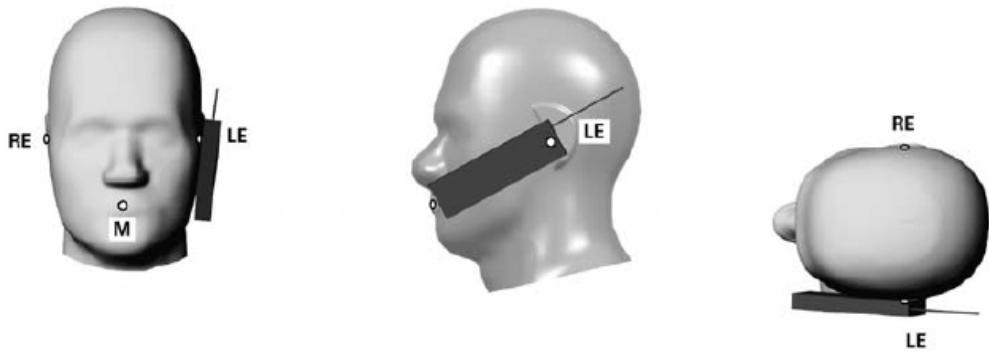
$w_t$  Ancho del equipo de mano al nivel de la salida acústica.

$w_b$  Ancho de la base del equipo.

A Punto medio del ancho  $w_t$  del equipo al nivel de la salida acústica.

B Punto medio del ancho  $w_b$  de la base del equipo.

**Figura 8 – Líneas de referencia vertical y horizontal y puntos de referencia A, B de dos ejemplos de tipos de equipos de mano.** (IEC 62209-1: 2005 Figura 5, pág. 53)



#### Leyenda

- M Punto de referencia de la boca.  
 LE Punto de referencia de la oreja izquierda (ERP).  
 RE Punto de referencia de la oreja derecha (ERP).

NOTA: La posición de este equipo debe ser mantenida para la configuración de prueba del fantasma como se muestra en la Figura 2.

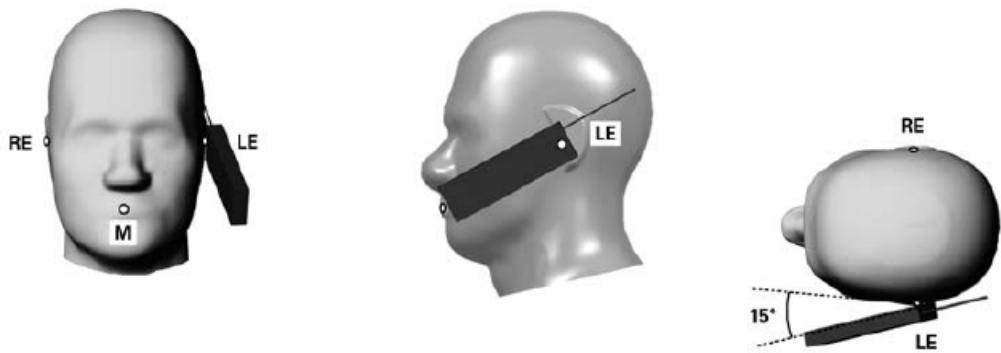
**Figura 9 – Posición de la mejilla de un equipo inalámbrico en el lado izquierdo del MAE. (IEEE 1528: 2003 Fig. 9, 44; Texto de la IEC 62209-1: 2005 Fig. 6, 55)**

#### 6.1.4.3 Definición de la posición “inclinada”

(IEC 62209-1: 2005 6.1.4.3, 55)

La posición inclinada es establecida por los puntos desde a) hasta d) como sigue:

- Repite los pasos desde a) hasta i) de 6.1.4.2 hasta colocar el equipo en la posición de mejilla (ver Figura 9).
- Mientras se mantiene la orientación del equipo, retraer el equipo paralelamente al plano de referencia lo suficientemente lejos para habilitar una rotación de 15° del equipo.
- Rotar el equipo 15° alrededor de la línea horizontal (ver Figura 10).
- Mientras se mantiene la orientación del equipo de mano, mover el equipo hasta el fantasma sobre una línea que pase a través de RE y LE hasta que cualquier parte del equipo toque la oreja. La posición inclinada es obtenida cuando sea sobre el pabellón de la oreja. Si el contacto es en otro lugar que no es el pabellón, por ejemplo, la antena con la parte trasera de la cabeza del fantasma, el ángulo del equipo de mano debe ser reducido. En este caso, la posición de inclinada es obtenida si cualquier parte del equipo de mano está en contacto con el pabellón de la oreja lo mismo ocurre si una segunda parte del equipo está en contacto con el fantasma, por ejemplo, la antena con la parte trasera del fantasma.



#### Leyenda

- M Punto de referencia de la boca.  
 LE Punto de referencia de la oreja izquierda (ERP).  
 RE Punto de referencia de la oreja derecha (ERP).

NOTA: La posición de este equipo debe ser mantenida para la configuración de prueba del fantasma como se muestra en la Figura 2.

**Figura 10 – Posición inclinada de un equipo inalámbrico en el lado izquierdo del MAE. (IEEE 1528: 2003 Figura 10, 44; texto de la IEC 62209-1: 2005 6.1.4.3, 57)**

#### 6.1.5 Modo operacional

Toda la subcláusula 6.1.5 proviene de (IEEE 1528: 2003 6.3.1, 40)

Los protocolos de comunicación (red) usados por el equipo determinaran el modo operativo y tipo de señales usado en las pruebas de TAE (frecuencia, esquema de modulación, salida de potencia, etc.). Todos los modos de operación aplicables por el equipo usado cerca del oído deben ser probados.

Si los diferentes modos (A, B, C, etc.) operan en la misma banda de frecuencia y con una máxima de salida de potencia diferente ( $P_A > P_B + 2 \text{ dB}$ ,  $P_C + 2 \text{ dB}$ , etc.), en algunos casos ciertos procedimientos pueden ser empleados para reducir el número de mediciones para los modos de baja potencia (B, C, etc.) sin comprometer la rigurosidad de las pruebas de máxima exposición.

[ Si al menos una de las mediciones del valor pico espacial promedio en los modos de baja potencia (B, C, etc) es más bajo que el 85% de lo medido en el modo A en cada una de sus configuraciones (posición de mejilla de oreja izquierda, posición inclinada de oreja izquierda, posición de mejilla de oreja derecha, posición inclinada de oreja derecha), entonces no hace falta probar el equipo en el modo B. Si es igual o mayor al 85% se debe realizar una prueba completa del equipo de acuerdo con los procedimientos en la sección 6.4.4 de la recomendación. ] (IEEE 1528: 2003 6.3.1 pie de pág. 11, pág 41)

##### 6.1.5.1 Analógico, modos FDMA

(IEEE 1528: 2003 6.3.1.1, 40)

Los equipos de mano analógicos, por ejemplo, AMPS, NMT, JTACS<sup>5</sup>, o equipos operando en modos

<sup>5</sup> AMPS, Advanced Mobile Phone System (Sistema Telefónico Móvil Avanzado), NMT Nordisk Mobil Telefoni o Nordiska MobilTelefoni-gruppen (Telefonía Móvil Nómada), JTACS Japanese Total Access Communication System (Sistema de Acceso Total a las Comunicaciones Japonesas)

típicamente en FDMA pueden ser probados con una señal de portadora de onda equivalente (OC) usando códigos de pruebas o simuladores de una estación base.

#### 6.1.5.2 Modos TDMA

(IEEE 1528: 2003 6.3.1.2, 40)

Equipos de mano operando acorde con los estándares TDMA, por ejemplo, NADC, GSM, DCS, PCS, PDC,<sup>6</sup> son generalmente probados en su modo operacional usando códigos de pruebas o un simulador de estación base.

#### 6.1.5.3 Modos CDMA

(IEEE 1528: 2003 6.3.1.3, 40)

La prueba debe ser realizada en el peor caso de tiempo promedio del factor de uso del transmisor, el cual es usualmente el modo de tasa completa del “vocoder”<sup>7</sup>. Adicionalmente, se debe tomar precaución de que el simulador de estación base o los códigos de prueba hagan que el transmisor opere al mayor nivel de potencia posible, permitido por el dispositivo y el sistema.

### 6.1.6 Frecuencias de prueba

(IEC 62209-1: 2005 6.1.5, 57)

Un equipo debe reunir los requerimientos de los estándares de exposición aplicables a todos los canales de transmisión. Hacer pruebas a cada canal es poco práctico e innecesario. El propósito de esta subcláusula es definir un subconjunto de canales prácticos donde las mediciones de TAE deben llevarse a cabo. Este subconjunto de canales es seleccionado con el fin de brindar una caracterización representativa de la respuesta de TAE del equipo de mano.

Para cada modo operacional del equipo de mano, las pruebas deben ser realizadas en el canal más cercano al centro de la banda de frecuencia de transmisión. Si el ancho de la banda de frecuencia de transmisión ( $\Delta f = f_{\text{high}} - f_{\text{low}}$ ) excede 1% de su frecuencia central, entonces los canales a la más baja y la más alta frecuencia también deben ser probados.

Si el ancho de la banda de transmisión excede 10% de su frecuencia central, se debe usar la ecuación siguiente para determinar el número de canales a ser probado:

$$N_c = 2 \times \text{roundup}[10(f_{\text{high}} - f_{\text{low}})/f_c] + 1$$

La función roundup( $x$ ) redondea el argumento  $x$  al entero superior más cercano.

donde

$f_c$  es la frecuencia central de la banda en hertz;

<sup>6</sup> NADC, North American Dual-mode Cellular (Celular de Modo Dual Norte Americano), GSM, Global System for Mobile communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), DCS, Digital Cellular System (Sistema Celular Digital), PCS, Personal Communications Service (Servicio de Comunicaciones Personales), PDC, Personal Digital Cellular (Celular Digital Personal).

<sup>7</sup> Un vocoder es un analizador y sintetizador de voz. Su primer uso fue la seguridad en radiocomunicaciones, donde la voz tiene que ser digitalizada, cifrada y transmitida por un canal de ancho de banda estrecho. <http://es.wikipedia.org/wiki/Vocoder>

$f_{\text{high}}$	es la más alta frecuencia de la banda en hertz;
$f_{\text{low}}$	es la más baja frecuencia de la banda en hertz;
$N_c$	es el número de canales;
$\Delta f$	es el ancho de la banda de frecuencia de transmisión en hertz;

## 6.2 Pruebas a ser realizadas

(IEC 62209-1: 2005 6.2, 59)

Para determinar el valor de pico espacial promedio de TAE de un equipo, todas las posiciones del equipo, configuraciones y modos operacionales, deben ser probadas para cada banda de frecuencia de acuerdo con los siguientes pasos:

### Paso 1:

Las pruebas de 6.3 deben ser realizadas en el canal más cercano al centro de la banda de frecuencia de transmisión ( $f_C$ ) para:

- todas las posiciones del equipo (mejilla e inclinado, para ambos lados tanto izquierdo como derecho del fantasma MAE como está descrito en 6.1.4)
- todas las configuraciones para cada posición del equipo en a), por ejemplo, antena extendida y retraída, y
- todos los modos operacionales, por ejemplo, analógico y digital, para cada posición del equipo en el ítem a) y configuración en el ítem b) en cada banda de frecuencia.

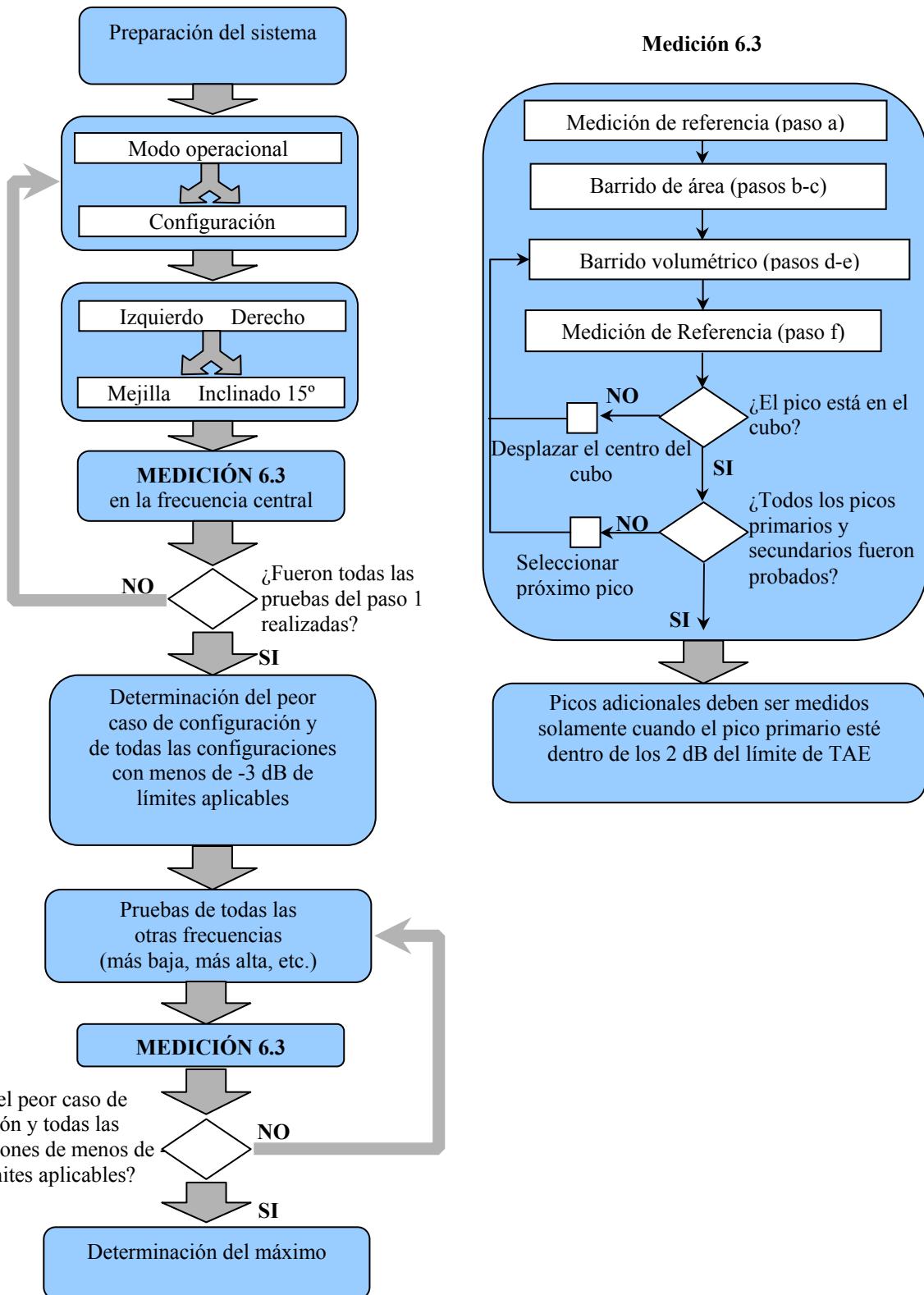
Si más de tres frecuencias deben ser probadas por 6.1.6 (es decir,  $N_c > 3$ ), entonces todas las frecuencias, configuraciones, y modos deben ser probados para cada una de las configuraciones anteriormente mencionadas.

### Paso 2:

Para la condición de proveer el más alto pico espacial promedio de TAE determinado en el paso 1, se deben realizar todas las pruebas de 6.3 a todos los otros canales de frecuencia, es decir, la frecuencia más baja y la más alta (ver 6.1.6). Además, para todas las demás condiciones (posición del equipo, configuración, y modo operacional) donde el valor del pico espacial promedio de TAE determinado en el paso 1, esté dentro de los 3 dB del límite de TAE aplicable, es recomendable que todas las otras pruebas de frecuencias también sean probadas.

### Paso 3:

Examine toda la data para determinar el valor más grande del pico espacial promedio de TAE encontrado los pasos 1 y 2.



**Figura 11 – Diagrama de flujo para la determinación del mayor pico espacial promedio de TAE en todas las configuraciones del equipo. (IEC 62209-1: 2005 6.2, 61)**

### 6.3 Procedimiento de medición

(IEC 62209-1: 2005 6.3, 63)

El siguiente procedimiento debe ser realizado para cada condición de prueba (ver Figura 11) descrita en 6.2.

a) Medir la TAE local situada sobre el punto de prueba a una distancia inferior o igual a 10 mm, en dirección perpendicular a la superficie interna del fantasma. El punto de prueba debe estar cercano a la oreja.

b) Medir la distribución de TAE en el fantasma (procedimiento de *barrido de área*). La distribución de TAE es escaneada a lo largo de la superficie interna de un lado de la cabeza del fantasma, al menos para un área mayor que la proyección del equipo de mano y la antena. El paso de la cuadrícula espacial debe ser menor de 20 mm. La precisión de la resolución puede ser también probada usando las funciones de referencia de 7.2.4. Si se realiza un barrido de la zona, la distancia entre el centro geométrico del dipolo de la sonda y la superficie interior del fantasma debe ser de 8.0 mm o menos ( $\pm 1,0$  mm). En todos los puntos de medición, es recomendado, pero no exigido, que el ángulo de la sonda respecto a la línea normal a la superficie sea menor que  $30^\circ$  (ver Figura 13).

NOTA: Si el ángulo es mayor que  $30^\circ$  y la distancia de medición es más cercana que un diámetro de la punta de prueba, el efecto de frontera puede ser mayor y dependiente de la polarización. Esta incertidumbre adicional necesita ser analizada y tomada en cuenta.

c) A partir de la distribución obtenida del barrido de TAE, identificar la posición del máximo valor de TAE, así como las posiciones de cualquier valor máximo local con valores de TAE dentro de los 2 dB del valor máximo que no esté dentro del *barrido volumétrico*. Los picos adicionales deben ser medidos solamente cuando el pico primario esté dentro de los 2 dB del límite de TAE aplicable (es decir, 1 W/kg para un límite de 1.6 W/kg para 1 g, o 1.26 W/kg para un límite de 2 W/kg para 10 g). Esto es consistente con el umbral de 2 dB actualmente establecido.

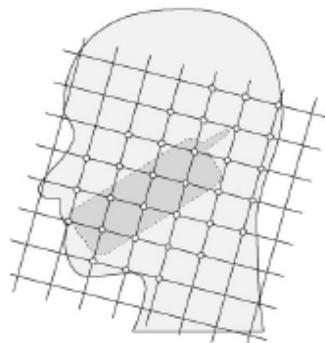
d) Medir la TAE con el paso de la cuadrícula de 8 mm o menos en un volumen con un tamaño mínimo de 30 mm por 30 mm y 30 mm en profundidad (procedimiento de *barrido volumétrico*). El paso de la cuadrícula en la dirección vertical debe ser de 5 mm o menor (ver C.3.3). Las cuadrículas de barrido separadas deben ser centradas en cada máximo local de TAE encontrado en el paso c). Las incertidumbres debido a la distorsión del campo entre la frontera del medio y la carcasa \ cubierta dieléctrica de la sonda deben ser minimizadas, lo cual es posible si la distancia entre la superficie del fantasma y la punta de la sonda es mayor que la mitad del diámetro de la punta de la misma. Otros métodos pueden utilizar procedimientos de corrección para esos efectos de frontera que permiten mediciones de alta precisión a distancias más cercanas que medio diámetro de la punta de la sonda. Se recomienda, más no se exige, que en todos los puntos de medición, el ángulo de la sonda respecto a la línea normal de la superficie sea inferior a  $30^\circ$ .

NOTA: Si el ángulo es mayor que  $30^\circ$  y la distancia de la medición es más cercano que un diámetro de la punta de la sonda, el efecto de frontera puede ser mayor y dependiente de la polarización. Esta incertidumbre adicional necesita ser analizada y tomada en cuenta.

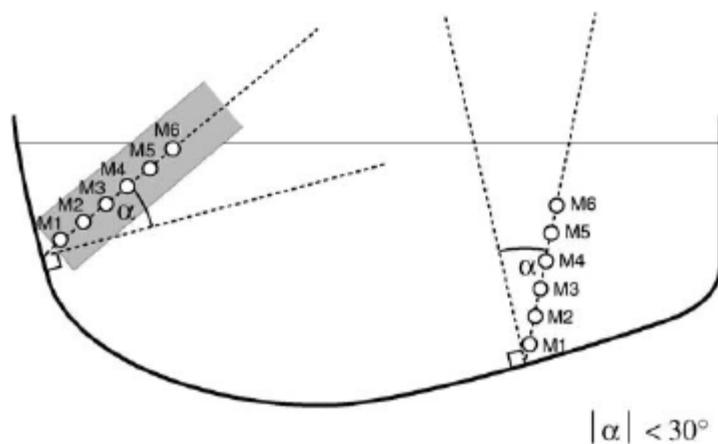
e) Usar los procedimientos de interpolación y extrapolación definidos en el Anexo C para determinar los valores de TAE local a la resolución necesaria para la integración de la masa.

f) Se debe medir la TAE local exactamente en el mismo lugar que el usado en a). El valor absoluto de la deriva de la medición, es decir, la diferencia entre la TAE medida en f) y a), debe ser registrado en la tabla de incertidumbres (Tabla 4). Se recomienda que la deriva se mantenga dentro del  $\pm 5\%$ . Si esto no es posible, aun cuando se repita la prueba, información adicional, por ejemplo, los valores de TAE local en función del tiempo, deben ser usados para demostrar que la potencia de salida aplicada durante la prueba es apropiada para las pruebas del equipo. Si más de un *barrido volumétrico* es necesario, las mediciones de referencia de la potencia de salida pueden ser hechas después de cada *barrido volumétrico*. Sin embargo, la deriva debe siempre ser registrada como la diferencia entre el estado inicial del equipo con la batería completamente cargada y las mediciones subsecuentes usando esa batería.

NOTA: Los términos *barrido de área* y *barrido volumétrico* del área están italizadas porque se refieren a protocolos de pruebas específicos descritos para propósitos de esta norma.



**Figura 12 – Ejemplo de un área de barrido incluyendo la posición del equipo móvil.**  
(IEEE 1528: 2003 Fig 11, 46)



**Figura 13 – Orientación de la prueba respecto a la línea normal de la superficie, mostrado en dos localidades diferentes. M1-M6 son ejemplos de puntos de medidas usados para extrapolar.**  
(IEC 62209-1: 2005 Fig 9, 65)

#### 6.4 Post procesamiento de las mediciones de TAE

Toda la subcláusula 6.4 proviene de (IEC 62209-1: 2005 6.4, 65)

#### **6.4.1 Interpolación**

Si la resolución de la cuadrícula de medición no es lo suficientemente fina como para calcular la TAE promedio sobre una masa dada, debe ser efectuada una interpolación entre los puntos de medición. Los ejemplos de interpolación están dados en el Anexo C.

#### **6.4.2 Extrapolación**

Las sondas de campo-E usados para medir la TAE usualmente contiene tres dipolos ortogonales cercanos los unos a los otros y colocados en una cubierta protectiva. El punto de medición (calibración) está situado a unos pocos milímetros de la punta de la sonda y esta distancia debe ser tomada en cuenta cuando se identifiquen las posiciones de las mediciones de TAE. Los ejemplos de los procesos de extrapolación están dados en el Anexo C.

#### **6.4.3 Definición del volumen de promediación**

El volumen de promediación debe tener forma cúbica con las dimensiones de lado que establezca una masa de 1 g o 10 g. Una densidad de  $1000 \text{ kg/m}^3$  debe ser usada para representar la densidad del tejido de la cabeza (la densidad real del líquido del fantasma no debe ser utilizada). La longitud del lado de un cubo de 1 g debe ser de 10 mm, y la longitud de un lado de un cubo de 10 g debe ser de 21.5 mm.

Si el cubo se interseca con la superficie del fantasma, este debe ser orientado de tal manera que tres vértices toquen la superficie y el volumen añadido sea sustraído de la cara opuesta del cubo. Esquemas para la integración sobre un volumen cúbico están dados en el Anexo C. Descripciones de los métodos para la estimación de TAE promedio sobre la masa previamente definida están dadas en el Anexo C.

#### **6.4.4 Búsqueda del máximo**

El volumen cúbico de integración debe ser desplazado hasta el volumen de la zona de *barrido volumétrico* cercano a la superficie interna del fantasma en la proximidad de TAE local máximo, usando consideraciones como las dadas en el Anexo C. El cubo con la TAE local máxima más elevada no deberá estar en el borde del perímetro del volumen del *barrido volumétrico*. En caso de ser así, el *barrido volumétrico* debe ser desplazado y las mediciones deben ser hechas nuevamente.

### **7 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

Toda la cláusula 7 proviene de (IEC 62209-1: 2005 7, 67)

#### **7.1 Consideraciones generales**

##### **7.1.1 Concepto para la estimación de las incertidumbres**

Los conceptos para la estimación de la incertidumbre en la medición de los valores de TAE producidos por equipos inalámbricos está basada en las reglas generales provistas por la Guía para la Expresión de Incertidumbre en Mediciones dado por la ISO/IEC [24]. Sin embargo, la estimación de la incertidumbre para mediciones complejas permanecen como una tarea difícil y requiere un alto nivel y

conocimientos especializados de ingeniería. Para facilitar esta tarea, lineamientos y fórmulas de aproximación están dados en esta cláusula, que permiten la estimación de incertidumbre de cada componente individual. El concepto está diseñado para proveer un sistema de incertidumbre para un rango completo de frecuencias desde 300 MHz hasta 3 GHz y para todos los equipos bajo prueba. Esto tiene una desventaja, y es que la incertidumbre puede ser sobreestimada para algunos casos pero permite el uso de aproximaciones dadas en esta cláusula. Además, una ventaja es que la estimación de la incertidumbre puede ser realizada por terceras partes, es decir, la Tabla 4 puede ser dada por el fabricante del sistema después de la instalación. Las evaluaciones de incertidumbres a bandas específicas es posible pero deben ser evitadas. En este caso, si el estándar permite X % de desviación del valor de referencia para algunas magnitudes influyentes, entonces el máximo de X % y no la desviación específica en el sitio debe ser usada por la Tabla 4. Se debe notar que no es suficiente proveer solamente la Tabla 4 sin la disposición de una documentación detallada de la estimación de cada magnitud de influencia incluyendo la metodología y determinación de los datos de cada componente, de la misma manera como la incertidumbre fue conseguida del conjunto de datos.

[ Los componentes típicos de la incertidumbre están descritos en la Tabla 4, la cual muestra las cantidades de influencias típicas para la incertidumbre, mientras que la Tabla 5 muestra los parámetros de incertidumbre a ser evaluados para una *validación del sistema*. Una tabla difiere de la otra en lo relacionado a las configuraciones del equipo de prueba y el fantasma. En la Tabla 5 el equipo de prueba es reemplazado por una fuente específica controlada (por ejemplo, un dipolo) y el fantasma MAE es reemplazado por uno plano. ] (IEEE 1528: 2003 7.2, párrafo 1 y 2, 55)

[ Todos los valores están en unidades lineales (porcentajes) no en dB, porque los límites de TAE están especificados en unidades lineales. Cuando algún valor de incertidumbre basado en condiciones genéricas es dado por un fabricante de sistemas de TAE y estos son aplicables para un conjunto de pruebas en particular, una menor cantidad de análisis de incertidumbres son necesarios por parte del usuario final del sistema de medición de TAE. ] (IEEE 1528: 2003 7.2, párrafo 3 y 4, 55)

[ Todas las incertidumbres de los componentes en la Tabla 4 y 6 deben ser menor que  $\pm 30\%$  (+1.14 dB, -1.55 dB) para los valores de pico espacial promedio de TAE en el rango de 0.4 W/kg - 10 W/kg. Si esta es mayor, hay que reducirla hasta los  $\pm 30\%$ . En todos los casos de medición de incertidumbre deben estar acompañados de los resultados de mediciones de TAE en el reporte de pruebas. ] (IEEE 1528: 2003 7.2, párrafo 5, 55)

### 7.1.2 Evaluaciones Tipo A y Tipo B

Las dos evaluaciones, de Tipo A y Tipo B, de incertidumbre normalizada deben ser usadas. Cuando un análisis Tipo A es realizado, la incertidumbre normalizada  $u_i$  debe ser conseguida usando la desviación estándar estimada de las observaciones estadísticas. Cuando un análisis Tipo B es realizado,  $u_i$  proviene de los límites superior  $a_+$  e inferior  $a_-$  de la magnitud en cuestión, dependiendo de la función de distribución de probabilidad usada  $a = (a_+ - a_-)/2$ , entonces:

a) Distribución rectangular:  $u_i = a/\sqrt{3}$

- Distribución triangular:  $u_i = \frac{a}{\sqrt{6}}$

- Distribución normal:  $u_i = \frac{a}{k}$

- Distribución en U (asimétrica):  $u_i = \frac{a}{\sqrt{2}}$

donde

a es la mitad de la longitud del intervalo establecido por los límites de la magnitud influyente;

k Es un factor de cobertura;

$u_i$  es la incertidumbre estándar

Para una medición repetida  $n$  veces de un mismo equipo en específico o magnitud, con las mismas configuraciones de prueba, el promedio de la desviación estándar ( $= \frac{s}{\sqrt{n}}$ ) puede ser usada para la incertidumbre normalizada, donde  $s$  es la desviación estándar obtenida de un gran conjunto de mediciones realizadas anteriormente en las mismas condiciones. Las desviaciones estándar predeterminadas basadas en un gran número de pruebas repetidas pueden ser usadas para estimar la incertidumbre de los componentes en casos donde el sistema, método, configuración y condiciones, etc., son representativos del equipo específico de prueba. La predeterminación no incluye las contribuciones del EBP particular. Para un equipo específico, el valor de  $n$  usado para el promedio de la desviación estándar es el número de pruebas con el equipo en específico, y no las pruebas usadas en la predeterminación<sup>8</sup>.

### 7.1.3 Grados de libertad y factor de cobertura

Cuando los grados de libertad son menores que 30, un factor de cobertura de dos no es el multiplicador apropiado a ser usado para alcanzar un nivel de confianza de 95 %. Un procedimiento simple pero solo aproximativamente correcto, es el utilizar  $t$  en lugar de un factor de cobertura  $k$ , donde  $t$  es el factor de Student. Las desviaciones estándar de la distribución en  $t$  son más bajas de lo normal que para las distribuciones normales (Gausianas), pero las curvas se aproximan a la forma Gausiana para un gran número de grados de libertad. Los grados de libertad para la mayoría de las incertidumbres normalizadas basadas en evaluaciones de Tipo B se pueden suponer infinitas. Entonces los grados de libertad efectivos de una incertidumbre normalizada combinada,  $u_c$ , será mayormente dependiente de los grados de libertad de las contribuciones del Tipo A y su magnitud relativa a las contribuciones del Tipo B.

El factor de cobertura ( $k_p$ ) para pequeñas muestras de poblaciones deben ser determinadas por:

---

<sup>8</sup> Aclaratoria: Es decir, para un equipo en general se pueden usar todas las mediciones realizadas a otros equipos similares (predeterminación), pero para uno en específico solo se pueden usar las propias.

$$k_p = t_p(v_{\text{eff}})$$

donde

$k_p$  es el factor de cobertura para una probabilidad dada  $p$ ;

$t_p(v_{\text{eff}})$  es la distribución en  $t$ ;

$v_{\text{eff}}$  son los grados de libertad efectivos estimados usando la ecuación de Welch-Satterthwaite:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 \cdot u_i^4}{v_i}}$$

El subíndice  $p$  hace referencia al nivel de confianza aproximado, por ejemplo, 95 %. Las tablas de los valores  $t_p(v_{\text{eff}})$  están disponibles, por ejemplo en NIST TN1297 [44].

NOTA: Como ejemplo, suponemos una incertidumbre del tipo compuesta calculada a partir de todas las magnitudes influyentes de la Tabla 4, con una incertidumbre de posicionamiento de 7 %,  $v_c = 14.5$  %. Se supone también que el número de muestras o pruebas es igual a 5, obteniendo  $v_i = 4$ , y los grados de libertad de todos los otros componentes son  $v_i = \infty$ . de

la ecuación  $v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 \cdot u_i^4}{v_i}}$ , los grados de libertad efectivos de la incertidumbre normalizada combinada es  $v_{\text{eff}} = 74$ , así

$k = 2$  aplica en este caso, y la incertidumbre expandida es  $U = 29\%$ . Si la incertidumbre normalizada para las variaciones de posicionamiento llega al 9 % y el número de pruebas es reducido a 4 ( $v_i = 3$ ), entonces  $v_c = 15.6$  %,  $v_{\text{eff}} = 27$ ,  $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} = 2.11$ , y la incertidumbre expandida se vuelve  $U = 2.11 \times 15.6 = 32.9$  %.

## 7.2 Componentes contribuyentes la incertidumbre

### 7.2.1 Contribución del sistema de medición

#### 7.2.1.1 Calibración del equipamiento de medición

Un protocolo para la evaluación de la incertidumbre de la sensibilidad (calibración) está dada en el Anexo B, incluyendo una aproximación para la estimación de la incertidumbre. La incertidumbre de la sensibilidad debe ser estimada asumiendo una distribución de probabilidad normal.

[ La incertidumbre de la calibración de una sonda de campo-E es estimada con los procedimientos descritos en B.2.1.2 para las técnicas de temperatura y calibración por guías de onda. Los resultados de la incertidumbre combinada estándar deben ser colocados en las primeras filas de la Tabla 4 y la Tabla 5. ] (IEEE 1528: 2003 E.2.1, 103)

#### 7.2.1.2 Isotropía de la sonda

La isotropía de la sonda debe ser medida de acuerdo al protocolo definido en el Anexo B. La incertidumbre debida a la isotropía debe ser estimada con una distribución de probabilidad rectangular.

$$IIT = \sqrt{(1 - w_i) \times [Isotropía\ axial]^2 + w_i \times [Isotropía\ hemisferica]^2}$$

IIT = Incertidumbre debido a la Isotropía Total

Donde  $w_i$  es el factor de ponderación para tomar en cuenta los ángulos de incidencia del campo alrededor de una esfera imaginaria encerrando la punta de la sonda.

Si la orientación de la sonda es aproximadamente normal a la superficie (dentro de  $\pm 30^\circ$ ) durante la medición, entonces  $w_i = 0.5$ , de otra manera  $w_i = 1$ .

### 7.2.1.3 Linealidad de la sonda

La linealidad de la sonda debe ser determinada por el cuadrado de la intensidad del campo eléctrico medido de acuerdo al protocolo definido en el Anexo B. Se debe realizar una corrección para establecer la linealidad. La incertidumbre es considerada después de esta corrección. Puesto que los sensores de los diodos pueden volverse detectores de picos en campos pulsátiles, la linealidad debe ser determinada con dos señales – una señal de OC, y una señal pulsada a 10% de factor de trabajo con una tasa de repetición de 500 Hz (más conservador que 11 Hz o 217 Hz, por ejemplo, para la incertidumbre). La evaluación debe estar en el rango de 0.4 W/kg hasta 100 W/kg en pasos de 3 dB o menos. La incertidumbre de TAE es estimada como la máxima desviación entre los cuadrados respectivos de las intensidades de los campos medidos y la intensidad real para la evaluación completa. La incertidumbre debe ser estimada asumiendo una distribución de probabilidad rectangular.

### 7.2.1.4 Sensibilidad de la sonda de campo-E e incertidumbre de los límites de detección

[ La incertidumbre debido a los límites de detección del sistema pueden surgir cuando la intensidad del campo medido está muy cercano al límite de detección de la sonda y el sistema de instrumentación asociada. Esta incertidumbre puede ser evaluada con una señal de OC y una señal pulsada correspondiendo al mínimo factor de trabajo permitido o especificado para el sistema de pruebas de TAE. Las señales pulsadas y de OC deben producir una TAE promedio de aproximadamente 0.1; 2.0; y 10.0 W/kg. Por ejemplo, para un factor de trabajo de 10 %, corresponde al máximo pico de TAE de 100 W/kg especificados por los protocolos en este estándar. El nivel de TAE de 0.1 W/kg es escogido para proveer suficiente relación señal a ruido para esta evaluación, la cual corresponde a 1.0 W/kg a un factor de trabajo de 10 %. También es escogido este nivel debido a que los niveles de TAE menores que 0.1 W/kg típicamente tienen una contribución insignificante en el pico espacial promedio de TAE. Este rango de los niveles de TAE debe cubrir la relación potencia a pico promedio y requerimientos de señalización de los equipos de mano típicos que operen en los modos FDMA, TDMA, y CDMA. Para equipos que operen con factores de trabajo menores que 10 %, como un sistema DECT, la evaluación debe ser modificada apropiadamente para cubrir el rango de operación. Se debe asumir una distribución de probabilidad rectangular para la tolerancia de sensibilidad. ] (IEEE 1528: 2003 E.2.5, pág. 106)

### 7.2.1.5 Efecto de frontera

El efecto de frontera de la sonda ocurre debido al efecto de acoplamiento entre los dipolos de la sonda y la frontera del medio en la carcasa de plástico del fantasma. Las características de los efectos de

frontera pueden ser evaluadas usando la configuración de guía de onda descrito en el Anexo B de este documento. La incertidumbre de los efectos de frontera de la sonda es deducida de la aproximación de primer orden de una exponencial decreciente combinada con una función lineal representando el efecto de frontera y es estimado de la siguiente manera:

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = \frac{\delta TAE_{be} \cdot (d_{be} + d_{paso})^2 \cdot \left( \frac{-d_{be}}{e^{(\delta/2)}} \right)}{2d_{paso} \cdot (\delta/2)} \quad \text{para } (d_{be} + d_{paso}) < 10 \text{ mm}$$

donde

- $TAE_{incertidumbre}$  es la incertidumbre en porcentaje del efecto de frontera de la sonda;
- $d_{be}$  es la distancia entre la superficie y el punto de medición de “*barrido volumétrico*” más cercano, en milímetros;
- $d_{paso}$  es la distancia de separación entre el primer y segundo punto de medición que está más cercano a la superficie del fantasma, en milímetros, asumiendo que el efecto de frontera en la segunda localidad es despreciable;
- $\delta$  es la profundidad de penetración mínima, en milímetros, del líquido equivalente de tejido de la cabeza definido en esta norma, es decir,  $\delta \approx 14$  mm a 3 GHz;
- $\delta TAE_{be}$  En porcentaje de TAE, es la desviación entre el valor de TAE medido, a la distancia  $d_{be}$  de la frontera y el valor analítico de TAE.

Colocar la incertidumbre del efecto de frontera de la sonda en la línea y la columna apropiada de la tabla de incertidumbre, usando una distribución rectangular.

### 7.2.1.6 Electrónica de lectura

Las componentes de incertidumbre de la electrónica de lectura de la sonda de campo, incluyendo la amplificación, la linealidad, la carga de la sonda y el algoritmo de evaluación de incertidumbre deben ser evaluadas en su peor caso. Si los componentes de la electrónica de lectura tienen tolerancias de la misma magnitud, cada tolerancia debe ser convertida a una incertidumbre normalizada usando la distribución de probabilidad normal. El valor cuadrático de esas incertidumbres deben ser usadas para obtener la incertidumbre global de la electrónica de lectura.

### 7.2.1.7 Tiempo de respuesta

La sonda será expuesta a un campo eléctrico bien definido produciendo al menos 2 W/kg en la frontera entre el fantasma y el líquido equivalente de tejido. Los tiempos de respuesta de la señal son evaluados

así como el tiempo requerido por el equipamiento de medición (sonda y la electrónica de lectura) para alcanzar el 90 % del valor final de referencia después de un paso de variación o una comutación encendido/apagado de la fuente de alimentación. La incertidumbre resultante de la TAE de este tiempo de respuesta puede ser despreciada si la sonda está inmóvil por un periodo de tiempo mayor que dos veces el tiempo de respuesta mientras un valor de TAE es tomado. En ese caso, colocar un cero en la columna 3 en la Tabla 4. Si la sonda está inmóvil para dos veces el tiempo de respuesta o más, colocar el valor actual de la incertidumbre del tiempo de respuesta en la columna 3.

### 7.2.1.8 Tiempo de integración

El tiempo de integración aplicado a la medición de campo eléctrico en un punto específico puede introducir incertidumbres adicionales debido a la discretización si el equipo de mano no emite una señal de onda continua (OC) o el sistema de lectura no está bloqueado a la señal. Esta incertidumbre depende de las características de la señal y debe ser estimada ante de todas las mediciones de TAE. Si una señal no-OC es utilizada, la incertidumbre proveniente de las incertidumbres de los tiempos de integración deben ser tomados en cuenta para la estimación de la incertidumbre total. Una distribución de probabilidad rectangular es asumida para las incertidumbres resultantes de los tiempos de integración.

NOTA: Para una señal TDMA ( $t_{trama}$  = periodo de la trama), la incertidumbre máxima para un tiempo de integración definida ( $t_{int}$ ) esta dado por:

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = 100 \times \sum_{\text{todas las sub-tramas}} \frac{t_{trama} \cdot \text{intervalos}_{\text{reposo}}}{t_{int} \cdot \text{intervalos}_{\text{total}}}$$

para  $t_{int} > t_{trama}$ , donde

- $TAE_{incertidumbre}$  es la incertidumbre para los tiempos de integración, en porcentaje;  
 $t_{trama}$  es la duración de la trama;  
 $\text{intervalos}_{\text{reposo}}$  es el número de intervalos de reposo en la trama;  
 $\text{intervalos}_{\text{total}}$  es el número total de intervalos en una trama;  
 $t_{int}$  es el tiempo de integración en segundos [s].

[La trama básica en GSM tiene una duración de 4.6 ms, con 7 ranuras de reposo en una trama de 8 ranuras. En condiciones normales, cada una de esas ranuras puede manejar una llamada (o ser utilizada para señalización), es decir, que las ranuras en sí no están en reposo realmente considerando el conjunto. Sin embargo, si estamos hablando desde el punto de vista de una llamada particular que está ubicada en una de esas ranuras, efectivamente, las otras divisiones estarían temporalmente en reposo, ya que transmiten información de otros usuarios (esto coincide con el período de trama suministrado de 4.6 ms, ya que efectivamente ese es el período de repetición de cada intervalo). .] ] (Respuesta dada por Hector Compagnucci (Alcatel-Lucent), colocada con carácter de aclaratoria sobre lo que es un intervalo de reposo)

Colocar este valor en la tabla de incertidumbres, y una distribución rectangular puede ser asumida. [ Por ejemplo, la trama básica para sistemas GSM tiene una duración de la trama  $t_{trama} = 4.6$  ms, con 7

intervalos de reposo en una trama de 8 intervalos, y la duración de la multitrama es  $t_{multitrama} = 120$  ms, 1 intervalo de reposo en una trama con 26 intervalos. Para un tiempo de integración de 0.2 s, la

tolerancia estimada debe ser  $\frac{4.6 \text{ ms} \cdot 7}{200 \text{ ms} \cdot 8} + \frac{120 \text{ ms} \cdot 1}{200 \text{ ms} \cdot 8} = 0.0201 + 0.0231 = 0.0432$  o 4.32 %. Los

equipos que funcionen con tecnologías como AMPS (FDMA) o CDMA son probados con señales equivalentes de OC, por lo tanto, se debe colocar una tolerancia de valor cero.] (IEEE 1528: 2003 E.2.8, pág.108)

[ Para señales pulsadas se debe conocer el ancho y periodo del pulso. Para determinar su incertidumbre debe usarse la siguiente ecuación:

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = 100 \times \frac{t_{periodo}}{t_{int}} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{(t_{periodo} - t_{ancho})}{t_{periodo}}$$

donde

$t_{periodo}$  es el tiempo de periodo del pulso en milisegundos [ms];

$t_{ancho}$  es el ancho del pulso en milisegundos [ms];

$t_{int}$  es el tiempo de integración en segundos [s]. ] Obtenido de la fórmula de E34 del documento de Excel de la FCC (Tiempo de integración)

## 7.2.2 Contribución de las restricciones mecánicas

### 7.2.2.1 Sistema de barrido

Las restricciones mecánicas del posicionador de la sonda de campo puede introducir desviaciones en la precisión y repetibilidad de la sonda, la cual agrega incertidumbre a la medición de TAE. La incertidumbre puede ser estimada respecto a las especificaciones del posicionador de la sonda, relativo a la posición exigida respecto a la real de la medición definida por el centro geométrico de los sensores de la sonda de campo, y es expresado como la máxima desviación  $d_{ss}$ . Para las contribuciones debido a las restricciones mecánicas del posicionador de la sonda,  $d_{ss}$ , esta puede ser calculada usando una aproximación de error del primer orden:

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = \frac{d_{ss}}{\delta/2} \times 100$$

donde

$TAE_{incertidumbre}$  es la incertidumbre, en porcentaje;

$d_{ss}$  es la incertidumbre máxima de posicionamiento entre la posición calculada del centro del sensor de la sonda y la posición actual respecto al punto de referencia definido por el fabricante del sistema;

$\delta$  es la profundidad de penetración mínima, en milímetros, del líquido equivalente de tejido de la cabeza definido en esta norma, es decir,  $\delta \approx 14$  mm a 3 GHz.

Si el fabricante del posicionador de la sonda no especifica las restricciones mecánicas del mismo, este debe ser evaluado para determinar la contribución a la medición de la incertidumbre de TAE. Esto puede ser realizado simplemente evaluando la precisión relativa de movimiento en un área de barrido con una cuadrícula grande y convertir las diferencias de posiciones especificadas por el software para registrar las posiciones en incertidumbre. La tolerancia de TAE debe ser colocada en la columna 3 de la Tabla 4 suponiendo una distribución rectangular.

### 7.2.2.2 Carcasa del fantasma

La incertidumbre del fantasma está definida como la incertidumbre del pico espacial promedio inducido de TAE debido a las tolerancias de fabricación del fantasma, e incertidumbres de los parámetros dieléctricos del líquido equivalente de tejido dentro del fantasma (ver 7.2.3.3, 7.2.3.4). Las tolerancias de la fabricación del fantasma incluyen:

- Las desviaciones en las formas del interior y exterior de la carcasa del fantasma respecto a la definida por el archivo CAD usado para esta norma<sup>9</sup>;
- desviaciones en el grosor de la carcasa del fantasma respecto al definido en el archivo CAD.

La incertidumbre es estimada de acuerdo a la dependencia del peor caso de TAE en relación a la distancia desde una fuente, es decir, la dependencia en relación al cuadrado de la distancia de la fuente, y asumiendo una distancia de  $a = 10$  mm entre el líquido equivalente de tejido de la cabeza y la posición de la fuente equivalente en densidad de corriente del filamento (la densidad de corriente equivalente no corresponde a la fuente de corriente más cercana pero sí a una densidad de corriente aproximada a la distribución de campo H local).

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = \left( \frac{(a+d)^2}{a^2} - 1 \right) \times 100$$

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = \frac{2d}{a} \times 100 \quad si \quad d \ll a$$

donde

$TAE_{incertidumbre}$  es la incertidumbre, en porcentaje;

$d$  es la tolerancia máxima del grosor de la carcasa y forma del fantasma;

$a$  es la distancia entre el líquido equivalente de tejido de la cabeza y la fuente

<sup>9</sup> En realidad en esta norma no se proporciona ningún archivo CAD, esto fue colocado debido a que es una traducción fiel de la norma IEC 62209-1: 2005. Es de suponerse que esa comparación y archivos deben tenerla los fabricantes de los fantasmas y proporcionar sus tolerancias.

equivalente en densidad de corriente del filamento.

Colocar el valor de la incertidumbre en el rango correspondiente de la Tabla 4, asumiendo una distribución rectangular.

### 7.2.2.3 Posición de la sonda en relación a la superficie de la carcasa del fantasma

La incertidumbre del posicionador de la sonda en relación a la carcasa del fantasma  $d_{ph}$ , debe ser estimada. Asumiendo una distribución de probabilidad rectangular, la incertidumbre del pico espacial promedio de TAE es calculada usando una aproximación de error de primer orden:

$$TAE_{incertidumbre}[\%] = \frac{d_{ph}}{\delta/2} \times 100$$

donde

$TAE_{incertidumbre}$  es la incertidumbre, en porcentaje;

$d_{ph}$  es la incertidumbre para la determinación de la distancia entre la extremidad de la sonda y la carcasa de la sonda, es decir, la incertidumbre para la determinación de la ubicación del fantasma respecto a la extremidad de la sonda,

$\delta$  es la profundidad de penetración mínima, en milímetros, del líquido equivalente de tejido de la cabeza definido en esta norma, es decir,  $\delta \approx 14$  mm a 3 GHz;

La incertidumbre de TAE debe ser colocada en la columna 3 de la Tabla 4 en la tabla de incertidumbres asumiendo una distribución rectangular.

### 7.2.2.4 Posicionamiento del equipo e incertidumbres del dispositivo de soporte

Un dispositivo de soporte es usado para mantener la posición de prueba del equipo de mano contra el fantasma durante una medición de TAE. Dado que un dispositivo de soporte puede influenciar en las características del equipo bajo prueba, la incertidumbre de TAE debido a las perturbaciones del dispositivo de soporte deben ser estimadas usando los procedimientos en 7.2.2.4.1. Los procedimientos para las incertidumbres de TAE debido a variaciones en el posicionamiento resultante de las tolerancias mecánicas de soporte del dispositivo son expuestas en 7.2.2.4.2. Los dos párrafos incluyen los procedimientos para los equipos específicos y las incertidumbres predeterminadas. Si las incertidumbres predeterminadas son utilizadas, en la mayoría de los casos se pueden hacer múltiple repeticiones de las pruebas del equipo específico para reducir las desviaciones estándares predeterminadas.

#### 7.2.2.4.1 Incertidumbre debido a las perturbaciones del dispositivo de soporte

El dispositivo de soporte debe estar hecho de un material dieléctrico de bajas pérdidas con una constante dieléctrica menor que 5 y tangente de pérdida menor que 0.05 (esos parámetros del material

puede ser determinados por ejemplo usando el método de la sonda de contacto coaxial). Sin embargo, algunos dispositivos de soporte pueden afectar la fuente, de tal manera que la incertidumbre resultante del dispositivo de soporte (es decir, la desviación de la configuración sin el dispositivo de soporte) debe ser estimada. La incertidumbre para un equipo de prueba en específico debe ser estimada de acuerdo al método descrito en 7.2.2.4.1.1, que es un método de Tipo B. El método descrito en 7.2.2.4.1.2 provee un método Tipo A para evaluar un grupo de equipos de mano que tiene características similares de TAE y son probados con el mismo dispositivo de soporte.

#### 7.2.2.4.1.1 Incertidumbre debido a las perturbaciones del dispositivo de soporte, para un equipo específico: Tipo B

La incertidumbre debe ser estimada para un equipo específico funcionando en una configuración específica realizando las dos siguientes pruebas usando un fantasma plano.

- a) evaluación del pico espacial promedio de TAE ( $TAE_{con\ disp.\ sop.}$ ) colocando el equipo en el dispositivo de soporte de la misma manera en que este sería colocado contra la cabeza, después posicionar el equipo en contacto directo con el fantasma plano (líneas centrales, horizontales y verticales del equipo paralelas al fondo del fantasma);
- b) evaluación del pico espacial promedio de TAE ( $TAE_{sin\ disp.\ sop.}$ ) colocando el equipo en la misma posición pero usando en su lugar espuma de poliestireno o un material equivalente de bajas pérdidas y no reflectivo (permitividad menor o igual a 1.2 y tangente de pérdida no mayor que  $10^{-5}$ ).

La tolerancia de TAE a ser usada en la Tabla 4 es:

$$TAE_{incertidumbre} [\%] = \frac{TAE_{c\ / disp\ sop} - TAE_{s\ / disp\ sop}}{TAE_{s\ / disp\ sop}} \times 100$$

donde

$TAE_{incertidumbre}$  es la incertidumbre, en porcentaje;

$TAE_{c/disp\ sop}$  es la TAE con el dispositivo de soporte en watt por kilogramo

$TAE_{s/disp\ sop}$  es la TAE sin el dispositivo de soporte en watt por kilogramo

Para esta incertidumbre se asume una distribución de probabilidad rectangular y  $v_i = \infty$  grados de libertad.

#### 7.2.2.4.1.2 Incertidumbre debido a las perturbaciones del dispositivo de soporte para un equipo específico: Tipo A

Un análisis de la incertidumbre de Tipo A puede ser aplicado para un grupo de equipos que posean formas y distribuciones de TAE similares. La incertidumbre proveniente de esos análisis pueden ser aplicados a otros equipos con características de TAE similares y probados con el mismo dispositivo de soporte, de tal manera que las pruebas específicas descritas en 7.2.2.4.1.1 puedan ser evitadas. El efecto del dispositivo de soporte para N diferentes ejemplares de equipos en las diferentes configuraciones deben ser estimadas para la realización de las pruebas de 7.2.2.4.1.1 para cada ejemplar (N debe ser al menos de 6), donde para configuración:

$$TAE_{\text{incertidumbre}} [\%] = \frac{TAE_{c/\text{disp sop}} - TAE_{s/\text{disp sop}}}{TAE_{s/\text{disp sop}}} \times 100$$

donde

$TAE_{\text{incertidumbre}}$  es la incertidumbre, en porcentaje;

$TAE_{c/\text{disp sop}}$  es la TAE con el dispositivo de soporte en watt por kilogramo;

$TAE_{s/\text{disp sop}}$  es la TAE sin el dispositivo de soporte en watt por kilogramo.

La incertidumbre correspondiente para la Tabla 4 debe ser estimada obteniendo el valor R.M.S de las incertidumbres individuales con  $v_i = N - 1$  grados de libertad. Es recomendado que la base de datos hecha sea actualizada anualmente para tener en cuenta los cambios en el diseño del EBP.

El valor R.M.S o valor eficaz debe ser estimado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

#### 7.2.2.4.2 Incertidumbre de posicionamiento del equipo bajo prueba con un dispositivo de soporte específico: Tipo A

La desviación entre la posición real del equipo bajo prueba descrita en la norma depende de la precisión del dispositivo posicionador de EBP así como de la interpretación y el manejo de la persona que está realizando la prueba. Además, la magnitud de esta desviación de los valores de TAE depende del diseño del EBP. Puesto que esos parámetros no pueden ser separados, la siguiente prueba Tipo A debe ser realizada.

##### 7.2.2.4.2.1 Incertidumbre de posicionamiento de un equipo bajo prueba específico en un dispositivo de soporte específico.

Para las configuraciones y posiciones de los equipos bajo prueba que son evaluados para valores de pico espacial promedio de TAE de conformidad con los protocolos normalizados, la evaluación debe ser repetida al menos 4 veces más, para un total de  $N \geq 5$  pruebas. La desviación estándar en porcentaje de valor promedio debe ser calculado, a través del cual los grados de libertad son  $v_i = N - 1$ .

#### **7.2.2.4.2.2 Incertidumbre de posicionamiento de diferentes tipos de equipos bajo prueba específicos en un dispositivo de soporte específico.**

Un análisis de incertidumbre de Tipo A puede ser aplicado para un grupo de equipos teniendo una forma y distribución de TAE similares. Conviene que el número  $M$  sea al menos de 6, y cada una de las  $M$  pruebas deben ser realizadas de acuerdo a 7.2.2.4.2.1 (N veces). La mitad de las  $M$  pruebas deben ser en la posición de “mejilla” y la otra mitad deben estar en la posición “inclinada”. La incertidumbre correspondiente debe ser estimada mediante la aplicación del valor cuadrático de las  $M$  desviaciones estándar individuales. El valor a ser colocado en la tabla de incertidumbre debe ser la incertidumbre normalizada con  $k = 1$ , correspondiente a un nivel de confianza de 68 %. El número de grados de libertad es  $v_i = (N \times M) - 1$ . Si el procedimiento es aplicado para una incertidumbre determinada, puede ser innecesario aplicar 7.2.2.4.2.1 a equipos individuales. Es recomendable que la base de datos sea actualizada anualmente con la finalidad de tener en cuenta los cambios en el diseño del EBP.

### **7.2.3 Contribución de los parámetros físicos**

#### **7.2.3.1 Introducción**

Los detalles para los métodos de medición de los parámetros dieléctricos dados en el Anexo H, y los métodos de estimación de las incertidumbres están dados en H.7.

NOTA: De acuerdo con las prácticas metrológicas habituales, es recomendado que la incertidumbre de medición para cada parámetro dieléctrico sea inferior o igual a las variaciones permitidas por los valores de referencia de los parámetros dieléctricos medidos.

#### **7.2.3.2 Densidad del líquido**

Se asume que para los parámetros electromagnéticos del líquido equivalente de tejido, su densidad es de  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Esta densidad debe ser usada para las evaluaciones de TAE.

#### **7.2.3.3 Conductividad del líquido**

La incertidumbre debido a la conductividad de los líquidos proviene de dos diferentes fuentes. La primera fuente de incertidumbre es la variación de la permitividad de  $\pm 5\%$  de los valores de referencia de la Tabla 1 y 3, y la segunda fuente de incertidumbre proviene de los procedimientos de medición usados para evaluar la conductividad. La incertidumbre debe ser estimada usando una probabilidad rectangular (cláusula H.7).

#### **7.2.3.4 Permitividad del líquido**

La incertidumbre debido a la permitividad del líquido proviene de dos diferentes fuentes. La primera fuente de incertidumbre es la variación de la permitividad de  $\pm 5\%$  de los valores de referencia de la Tabla 1 y 3, y la segunda fuente de incertidumbre proviene de los procedimientos de medición usados para evaluar la permitividad. La incertidumbre debe ser estimada usando una probabilidad rectangular (cláusula H.7).

### 7.2.3.5 Derivas de la salida de potencia del equipo, de la sonda, de la temperatura y de la humedad.

Las variaciones y las derivas debido a la electrónica de los equipos de prueba y equipamiento de medición, así como la temperatura y la humedad, son tomados en cuenta por el primer y último paso del proceso de medición definido en 6.3, y la variación permisible es menor que  $\pm 5\%$ . La incertidumbre debe ser estimada suponiendo una distribución de probabilidad rectangular.

### 7.2.3.6 Perturbación del ambiente

Múltiples factores contribuyen a la perturbación del ambiente:

- la reflexión de las ondas en el laboratorio,
- la influencia de las propiedades electromagnéticas de la carcasa del fantasma y del dispositivo de soporte,
- el nivel de los campos electromagnéticos del ambiente.

La variación permitida debe estar comprendida en los límites de  $\pm 3\%$  y la incertidumbre debe ser estimada [ al menos una vez al año, si las mediciones son realizadas en una cámara de ambiente controlado, como una cámara blindada o anecoica, ] asumiendo una distribución de probabilidad rectangular. [ Esta tolerancia ha sido incluida en la fila correspondiente de la Tabla 4 y 6. ] Lo que está entre corchetes fue tomado de (IEEE 1528: 2003 E.6.1, pág. 117)

## 7.2.4 Contribución de post procesamiento

### 7.2.4.1 Introducción

Esta subcláusula describe la estimación de la incertidumbre resultante del post procesamiento de los datos de medición discreta para determinar el TAE máximo promediado en una masa de 1 g o 10 g, es decir, la incertidumbre combinada proveniente de los algoritmos de interpolación, de extrapolación, de integración y de la búsqueda del máximo. Esos algoritmos pueden agregar incertidumbre debido a las asunciones generales acerca del comportamiento del campo, y por lo tanto podría no predecir perfectamente la distribución de campo eléctrico en el líquido equivalente de tejido para un equipo bajo prueba en específico. La incertidumbre del algoritmo está en función de la resolución escogida por la medición de los métodos de post procesamiento usados en el barrido de área y el barrido volumétrico.

La distribución actual de TAE en la posición del pico es fuertemente dependiente de la frecuencia de operación y el diseño del EBP, de la posición en la que se realice la prueba y de la proximidad del equipo al líquido equivalente de tejido. Las distribuciones de TAE pueden tener un gradiente casi nulo cuando una fuente de baja frecuencia es colocada a una gran distancia, o puede tener un gradiente muy abrupto cuando una pequeña fuente de alta frecuencia como una antena de hélice es colocada cerca del tejido. En algunos casos la máxima TAE no está en la superficie del fantasma debido a la cancelación de los campos magnéticos en la superficie.

Las funciones analíticas de la distribución de TAE presentada abajo son destinadas a simular esas

condiciones y fueron desarrolladas para el propósito de esta estimación de incertidumbre. Esas funciones de referencia deducidas empíricamente son usadas para crear un conjunto de data de TAE artificial o ficticios, para probar las subrutinas de post procesamiento del software del sistema. Los valores de las funciones de referencia calculados para una cuadrícula de malla gruesa y una malla fina, los mismos que son usados en las mediciones, son introducidos en el software del sistema de TAE. Los valores de TAE en los puntos de la cuadrícula correspondiente a las cuadrículas del *barrido de área* y *barrido volumétrico* son calculados de acuerdo a las tres distribuciones de TAE dadas en 7.2.4.2 y procesados por el sistema de interpolación, extrapolación y los algoritmos de integración como si ellos fuesen medidos en la realidad. Los valores resultantes de TAE para 1 g y 10 g son comparados con los valores de referencia de TAE dados en 7.2.4.2. Los procedimientos para evaluar la incertidumbre de los algoritmos de post procesamiento de TAE del *barrido de área* y *barrido volumétrico* son descritos en 7.2.4.3. Las funciones de pruebas suponen una interfaz plana entre el líquido equivalente de tejido y el fantasma. La aplicación de esas funciones para interfaces curvas son analizadas en 7.2.4.4. Este concepto de incertidumbre supone que no hay errores en la posición de los puntos de la cuadrícula calculada con las funciones analíticas de distribución, y el posicionamiento de la sonda y las incertidumbres no son incluidos.

#### 7.2.4.2 Funciones de pruebas de evaluaciones

Tres funciones analíticas,  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$ , son utilizadas para representar el rango posible de las distribuciones de TAE esperados por los equipos probados de acuerdo a los procedimientos descritos en este documento. Una distribución espacial plana,  $f_1$ , y una distribución espacial en escalón,  $f_3$ , son usadas para cubrir el rango esperado de gradientes de campo en las mediciones de TAE de los equipos. La función  $f_2$  es usada para tomar en cuenta las condiciones de exposición con la anulación del campo H en la superficie del fantasma/líquido equivalente de tejido. Las funciones de distribución son definidas para la superficie del fantasma, a  $z = 0$  y la mitad del espacio del líquido equivalente de tejido es definido para todos los  $z > 0$ .

$$f_1(x, y, z) = A e^{\frac{-z}{2a}} \cos^2 \left( \frac{\pi \sqrt{x'^2 + y'^2}}{2 \cdot 5a} \right)$$

$$f_2(x, y, z) = A e^{\frac{-z}{a}} \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \left( 3 - e^{\frac{-2z}{a}} \right) \cos^2 \left( \frac{\pi y'}{2 \cdot 3a} \right)$$

$$f_3(x, y, z) = A \frac{a^2}{\frac{a^2}{4} + x'^2 + y'^2} \left( e^{\frac{-2z}{a}} + \frac{a^2}{2(a + 2z)^2} \right)$$

donde

$$x' = x + d \text{ mm};$$

$$y' = y + d \text{ mm};$$

$d$  = parámetro de desajuste (offset);

$$a = 20 \text{ mm};$$

$$A = 1 \text{ W/kg}.$$

Los parámetros  $a$  y  $A$  indicados arriba no tienen ningún otro significado físico particular más que para la generación de distribuciones apropiadas de TAE. Por ejemplo, un valor de  $d = 2.5$  mm, provee deriva lateral de la distribución de TAE tal que la posición del máximo no esta alineado con la cuadrícula de medición teniendo un incremento de 5 mm. Este desajuste (offset) es utilizado para probar las subrutinas de búsqueda de máximos e incertidumbre. Los valores de referencia de TAE de las funciones de distribución  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  para los cubos 1 g y 10 g alineados con los ejes de coordenadas ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) están dados abajo en la Tabla 3. Los valores de referencia son usados en los párrafos siguientes para probar otras funciones de procesamiento de datos.

**Tabla 3 – Valores de referencia de TAE en watt por kilogramo usados para estimar las incertidumbres de post procesamiento**

Función	Valor de TAE de referencia W/kg	
	Cubo de 1 g	Cubo de 10 g
$f_1$	0.881	0.759
$f_2$	1.796	1.375
$f_3$	3.049	1.385

#### 7.2.4.3 Evaluación de las incertidumbres de los algoritmos de post procesamiento de datos

##### 7.2.4.3.1 Evaluación del grosor del *barrido de área*

Una condición previa a la determinación de la TAE máxima medida con una incertidumbre dada, es que la posición de la exposición máxima puede ser determinada a partir del *barrido de área* con una precisión tal que la TAE máxima medida está enteramente encerrada en la zona de *barrido volumétrico*. En otras palabras, los algoritmos de interpolación del *barrido de área* deben ser capaces de localizar los lugares con máximo TAE con una precisión de  $\pm L_z/2$  mm o mejor, donde  $L_z$  es la longitud del lado del volumen del *barrido volumétrico*. Si esta condición previa es satisfecha, la cual es probada con los procedimientos de esta subcláusula, entonces la evaluación del *barrido de área* no contribuye a la incertidumbre.

Los valores de funciones de referencia calculados para los puntos de una cuadrícula usual de barrido son introducidos en el software del sistema. El algoritmo de interpolación trata esos puntos de datos como si ellos fuesen medidos en un *barrido de área* completo y determina el máximo pico de TAE ( $x_{\text{eval}}$ ,  $y_{\text{eval}}$ ). Esto es comparado con la posición real del máximo definido por las funciones analíticas en ( $x_{\text{ref}}$ ,  $y_{\text{ref}}$ ) = (-2.5, -2.5) mm, cuando  $d = 2.5$  mm. Los subíndices “eval” y “ref”, se refieren

respectivamente a “evaluado” y “referencia”. En otras palabras, las siguientes desigualdades deben ser satisfechas:

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z / 2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z / 2 \text{ mm}$$

La capacidad del *barrido de área* en dos dimensiones de localizar con precisión el máximo de TAE es dependiente de la resolución espacial ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) de la cuadrícula del *barrido de área*, de la resolución espacial ( $\Delta x_i$ ,  $\Delta y_i$ ) de los valores interpolados, y del tipo de función de interpolación ( $g_i(x)$ ,  $g_i(y)$ ) usada. También es dependiente de la posición de la cuadrícula de evaluación respecto a la posición real del máximo ( $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$ ) y del número de puntos de evaluación usados ( $N_x$ ,  $N_y$ ).

El siguiente procedimiento debe ser usado para determinar la incertidumbre de los algoritmos de interpolación usados en el *barrido de área* para determinar la posición del máximo de TAE:

- Escoger la resolución de la medición ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) y el número de puntos de evaluación ( $N_x$ ,  $N_y$ ) (correspondiente a las mediciones). El centro del *barrido de área* debe ser establecido en  $(x_0, y_0) = (0, 0)$ .
- Los valores de TAE son calculados usando las funciones  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  en los puntos de la cuadrícula de evaluación en los rangos:

$$x_0 - \Delta x \times [(N_x - 1)/2] \leq x \leq x_0 + \Delta x \times [(N_x - 1)/2]$$

$$y_0 - \Delta y \times [(N_y - 1)/2] \leq y \leq y_0 + \Delta y \times [(N_y - 1)/2]$$

donde se asume que  $N_x$  y  $N_y$  son enteros impares. Se supone un valor de  $z = 0$  puesto que la posición del pico es independiente de  $z$  para esas tres funciones.

- Los valores de TAE calculados por esas tres funciones de distribución son interpoladas por el sistema de medición de TAE con una resolución espacial de ( $\Delta x_i$ ,  $\Delta y_i$ ) de acuerdo a las funciones de interpolación  $[(g_i(x), g_i(y))]$  usadas por el sistema para determinar la posición del máximo de TAE ( $x_{eval}$ ,  $y_{eval}$ ). Si el sistema de medición no permite introducir los valores de TAE para efectuar la evaluación, se debe aplicar el mismo algoritmo por otros medios para determinar las incertidumbres de la interpolación y las de búsqueda de máximo.
- La posición del máximo de TAE determinado por los algoritmos de interpolación deben satisfacer los requerimientos de las siguientes desigualdades:

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z / 2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z / 2 \text{ mm}$$

De otra manera, los sistemas de medición y el procesamiento de data debe usar una cuadrícula de resolución fina y/o un gran número de puntos de interpolación para repetir la evaluación a partir de la etapa b).

- e) El centro del *barrido de área* ( $x_0, y_0$ ) debe ser desplazado en pasos de 1 mm dentro del rango  $0 < x_0 \leq \Delta x/2$  y  $0 < y_0 \leq \Delta y/2$  para repetir la evaluación a partir de la etapa b) para cada desplazamiento ( $x_0, y_0$ ) en esos rangos.

#### 7.2.4.3.2 Evaluación del *barrido volumétrico*

El *barrido volumétrico* es evaluado en comparación a los valores más elevados de TAE de 1 g y 10 g con los valores de TAE de referencia dados en 7.2.4.2. Extraído del procedimiento de *barrido de área* en 7.2.4.3.1, la verdadera posición del máximo ( $x_{ref}, y_{ref}$ ), es desplazado de la posición estimada ( $x_{eval}, y_{eval}$ ) por un valor igual a la cantidad dada por las siguientes desigualdades:

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z / 2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z / 2 \text{ mm}$$

Este desplazamiento es tomado en cuenta para las funciones de referencia  $f_1, f_2$  y  $f_3$  que figuran en 7.2.4.2 por la introducción de la distancia  $d$ . Puesto que en la práctica este desplazamiento varía, el valor de  $d$  debe variar sobre el rango:

$$|d| \leq (L_z - L_c) / 2$$

donde  $L_c$  es la longitud del lado del cubo (10 mm para 1 g, 21.5 mm para 10 g). Para cada distancia  $d$ , la incertidumbre máxima producida por cada uno de las tres funciones es registrada. El valor de la raíz cuadrada del promedio de los valores más altos de la incertidumbre para las mayores distancias  $d$ , son introducidos como la incertidumbre debido a la extrapolación, interpolación e integración.

NOTA: Aunque el requerimiento para el *barrido de área* es que el máximo de TAE esté localizado en  $|d| \leq L_z/2$ , un pequeño rango de  $|d| \leq (L_z - L_c)/2$  es usado aquí para asegurar que el cubo de 1 g o 10 g pueda ser calculado en el primer intento. Para valores de  $(L_z - L_c)/2 < |d| \leq L_z/2$ , el software de medición deberá advertir que el cubo de 1 g o 10 g no es capturado y las mediciones deben ser reintentadas. Esto no afecta la incertidumbre, así que no es necesario considerar este caso aquí.

- a) Escoger un desplazamiento para la evaluación de las funciones  $f_1, f_2$  y  $f_3$ .  $d$  debe variar desde  $-(L_z - L_c)/2$  hasta  $+(L_z - L_c)/2$  para pequeños incrementos (por ejemplo, en pasos de 1 mm). El desplazamiento debe también variar por separado en las direcciones  $x$  y  $y$ .
- b) Los valores de TAE son calculados de acuerdo a las funciones  $f_1, f_2$  y  $f_3$ , en los puntos de la cuadrícula correspondiente a los puntos de medición del *barrido volumétrico*.

$$(x, y, z) = (0, 0, L_h/2 + d_{be})$$

donde

$L_h$  es la altura del *barrido volumétrico*, y

$d_{be}$  es la distancia del punto de medición más cercano a la superficie interior

- c) Los valores de TAE calculados son extrapolados a la superficie del fantasma, a  $z = 0$ , por el software del sistema para obtener los puntos adicionales en el *barrido volumétrico*, que no pueden ser medidos a causa de las restricciones de la sonda. Los puntos de data extrapolados y calculados son interpolados a una resolución fina por el software del sistema, el cual aplica subsecuentemente los algoritmos de integración y de búsqueda para encontrar la máxima TAE dentro de la zona de *barrido volumétrico* para determinar el TAE más alto dentro de un cubo de 1 g o 10 g. Otros procedimientos son posibles. Si el sistema de medición no permite introducir los valores de TAE por efecto de la evaluación, el mismo algoritmo debe ser aplicado independientemente por otros medios para probar los algoritmos de extrapolación, interpolación e integración.
- d) Los valores de TAE ( $TAE_{eval}$ ) de 1 g y 10 g determinados por el sistema o por el software de procesamiento de datos son comparados a los valores de referencia de TAE dados en 7.2.4.2. La incertidumbre de TAE para cada función de distribución es calculada usando la siguiente ecuación:

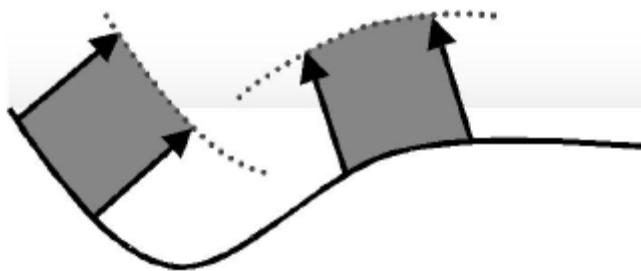
$$TAE_{incertidumbre}[\%] = \left| \frac{TAE_{eval} - TAE_{ref}}{TAE_{ref}} \right| \times 100$$

- e) La incertidumbre de TAE estimada más elevada para cada uno de las tres funciones, es registrada.
- f) Repetir los pasos de b) a d) para otros valores de desplazamiento  $d$ .
- g) calcular las raíces cuadradas promediadas de las incertidumbres calculadas en la etapa d) para cada desplazamiento  $d$  más arriba. Este valor debe ser introducido como una incertidumbre debido a la extrapolación, interpolación e integración en las columnas y rango correspondientes de la Tabla 4.
- h) Registrar los siguientes parámetros usados para estimar la incertidumbre del *barrido volumétrico*:
  - La dimensión de la cuadrícula usada para muestrear las funciones de referencia, tanto en términos de cantidad de puntos como en términos de muestreos en las tres dimensiones.
  - El número de puntos de interpolación incluidos entre dos puntos de medición, o la resolución de la interpolación en las tres direcciones, para las funciones de referencia.
  - La dimensión  $d_{be}$  de la región de extrapolación, es decir, la distancia entre la posición del sensor de la sonda en el primer punto de medición y la superficie del fantasma (el punto de medición está detrás de la punta de prueba).
  - los algoritmos de interpolación, de extrapolación y de integración utilizados.

Las condiciones de cálculo (como el número de puntos de la cuadrícula, los incrementos de la cuadrícula y el número de puntos de interpolación en las tres direcciones) deben ser los mismos para todas las funciones.

#### 7.2.4.4 Evaluación de las superficies curvas

Los procedimientos de 7.2.4.3 suponen que la frontera entre el líquido equivalente de tejido y el fantasma es plana. Sin embargo, la incertidumbre estimada con esas funciones para las fronteras entre el líquido equivalente de tejido y el fantasma también es válida para las superficies ligeramente curvas. El hecho que la función esté basada en una superficie plana no provee restricción alguna respecto a la aplicación de mediciones si el procedimiento está basado en las distancias equivalentes entre la cuadrícula y las superficies. Esto produce volúmenes de integración como se ilustra en la Figura 14. Sin embargo, la incertidumbre estimada con esas funciones para las fronteras planas entre el líquido equivalente de tejido y el fantasma es también válida para las superficies ligeramente curvas. La Figura 14 ilustra un método aceptable para la forma de los cubos durante el post procesamiento de TAE. La cara frontal del volumen mira la interfaz fantasma/líquido conforme la frontera curvada, para asegurar que todos los máximos de TAE sean capturados. La cara posterior debe ser igualmente distorsionada para mantener el correcto promedio de masa. La superficie plana y la orientación de las otras cuatro caras no son alteradas.



**Figura 14 – Orientación y superficie del volumen de integración relativo a la superficie del fantasma.**

### 7.3 Estimación de la incertidumbre

#### 7.3.1 Incertidumbres compuestas y expandidas

Las contribuciones de cada componente de incertidumbre deben ser registradas con descripción, distribución de probabilidad, coeficiente de sensibilidad y valor de la incertidumbre. Un formato de tabla es ilustrada en la Tabla 4. La incertidumbre compuesta normalizada  $u_c$  debe ser estimada de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2}$$

donde  $c_i$  es el coeficiente de sensibilidad y  $u_i$  es la incertidumbre normalizada.

### 7.3.2 Máximo de la incertidumbre expandida

El máximo de la incertidumbre expandida con un intervalo de confianza de 95 % no debe exceder 30 % para los valores de TAE máximo promediado, en el rango de 0.4 W/kg a 10 W/kg. Si la incertidumbre es mayor que el 30 %, la data reportada puede necesitar tomar en cuenta la diferencia de porcentaje entre la incertidumbre real y el 30 % del valor de referencia.

La incertidumbre es obtenida multiplicando la incertidumbre combinada por un *factor de cobertura*. Típicamente el factor de cobertura esta en el rango de 2 a 3. Un factor de cobertura permite conseguir el valor real de incertidumbre de una cantidad medida. Para propósitos de esta norma, se usa un intervalo de confidencialidad de 95 %, el cual corresponde a un factor de cobertura de dos ( $k = 2$ ), cuando la incertidumbre tiene una distribución normal.

**Tabla 4 — Plantilla para la evaluación de las mediciones de incertidumbre en pruebas de TAE para equipos de mano. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3, 95)**

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e=f(d,k)</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h=c x f/e</i>	<i>i=c x g/e</i>	<i>k</i>
Componente de Incertidumbre	Cláusula	Tol ( $\pm \%$ )	Dist. de Prob.	Div.	$C_i$ (1 g)	$C_i$ (10 g)	$1 \text{ g}$ $u_i$ ( $\pm \%$ )	$10 \text{ g}$ $u_i$ ( $\pm \%$ )	$v_i$
<b>Sistema de Medición</b>									
Calibración de la sonda	7.2.1.1		N	1	1	1			$\infty$
Isotropía	7.2.1.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Efecto de frontera	7.2.1.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Linealidad	7.2.1.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Sistema de detección de límites	7.2.1.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Electrónicas de lectura	7.2.1.6		N	1	1	1			$\infty$
Tiempo de respuesta	7.2.1.7		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Tiempo de integración	7.2.1.8		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Condiciones de Ambiente RF - Ruido	7.2.3.6		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Condiciones de Ambiente RF - Reflexiones	7.2.3.6		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Tolerancia del dispositivo posicionador mecánico de la sonda	7.2.2.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Posicionamiento de la sonda respecto a la carcasa del fantasma	7.2.2.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Post procesamiento	7.2.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
<b>Pruebas relacionadas con la muestra</b>									
Prueba de posicionamiento de la muestra	7.2.2.4		N	1	1	1			$^{10}N-1$
Incertidumbre del dispositivo de soporte	7.2.2.4.2		N	1	1	1			$N-1$
Deriva de la potencia de salida	7.2.3.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$

<sup>10</sup>COMENTARIO: En la norma de la IEC 62209-1: 2005 donde están las incertidumbres de “prueba de posicionamiento de la muestra” e “incertidumbre del dispositivo de soporte” los grados de libertad ( $v_i$ ) están dados por ( $M-1$ ), pero en las subcláusulas se especifica que son  $N-1$ , al igual que en el estándar IEEE 1528: 2003. Por lo tanto se piensa que fue un error de tipografía.

**Tabla 4 — Plantilla para la evaluación de las mediciones de incertidumbre en pruebas de TAE para equipos de mano (continuación)** (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3, 95)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e=f(d,k)</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h=c x f/e</i>	<i>i=c x g/e</i>	<i>k</i>
Componente de Incertidumbre	Cláusula	Tol ( $\pm \%$ )	Dist. de Prob.	Div.	$C_i$ (1 g)	$C_i$ (10 g)	1 g $u_i$ ( $\pm \%$ )	10 g $u_i$ ( $\pm \%$ )	$v_i$
<b>Fantasma y parámetros de tejido</b>									
Incertidumbre del fantasma (tolerancia de la forma y grosor)	7.2.2.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Conductividad del líquido – desviación de los valores de referencia	7.2.3.3		R	$\sqrt{3}$	0.64	0.43			$\infty$
Conductividad del líquido – medición de incertidumbre	7.2.3.3		N	1	0.64	0.43			<span style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px;"><math>M^{11}</math></span> <span style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px;"><math>N-1</math></span>
Permitividad del líquido – desviación de los valores de referencia	7.2.3.4		R	$\sqrt{3}$	0.6	0.49			$\infty$
Permitividad del líquido – medición de incertidumbre	7.2.3.4		N	1	0.6	0.49			<span style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px;"><math>M</math></span> <span style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px;"><math>N-1</math></span>
Incertidumbre combinada normalizada			RCSC						
Incertidumbre Expandida			$^{13}k$ (o $t_p$ )						$^{12}v_{eff}$

<sup>11</sup> COMENTARIO: Tanto en la norma IEC 62209-1: 2005, como en el estándar IEEE 1528: 2003, está colocado el valor “M”, sin embargo es más adecuado un valor de “N-1”, ya que en las respectivas subcláusulas de referencia para cada norma (IEC 62209-1: 2005 7.2.3.4 e IEEE 1528: 2003 E.3.3) no nombran este valor “M”, salvo en las notas de las tablas del estándar IEEE 1528: 2003, donde dicen que “M” es el valor de los grados de libertad y en las mismas notas de la norma IEC 62209-1: 2005 dicen que “M” es el número de pruebas. En el documento de incertidumbres de DASY5 toman este valor como infinito ( $\infty$ ). En el documento de Excel de la FCC toman este valor como “N-1” donde “N” es el número de pruebas. En la Tabla J.3 de la norma IEC 62209-1: 2005 toman para los grados de libertad debido a las repeticiones, el valor de “N-1”.

<sup>12</sup> COMENTARIO: Este valor no se encuentra en la norma IEC 62209-1: 2005, mientras que en la IEEE 1528: 2003 si está. Al parecer olvidaron colocarla en la norma IEC 62209-1: 2005 puesto que este valor debería ser incluido en la tabla según la nota 6 de la Tabla 3 en la pág. 97 de la misma norma, aunque en esta nota dicen que este valor es solo para la incertidumbre expandida. Sin embargo, el estándar IEEE 1528: 2003 afirma en su nota 5 de las Tablas 5 y 6, que este valor de  $v_{eff}$  es tanto para la Incertidumbre combinada como para la expandida, aunque no la colocan de igual manera en las Tablas 5 y 6. Este valor es colocado en la fila de la incertidumbre expandida, sin embargo, este valor también es usado para calcular la incertidumbre expandida.

<sup>13</sup> COMENTARIO: De igual manera que el comentario anterior, este valor no aparece en la norma IEC 62209-1: 2005, mientras que si en la IEEE 1528: 2003, sin embargo, no se pudo encontrar explicación para este valor. En un documento sobre el cálculo de las incertidumbres facilitado por personal de la SPEAG este valor no es tomado en cuenta, de hecho, ni siquiera se registra valor alguno en este recuadro. En ese mismo documento colocan las incertidumbres tanto para la norma IEC 62209-1: 2005 como para la IEEE 1528: 2003, y estas resultan ser exactamente iguales, además, colocan los grados de libertad efectivos sólo para la incertidumbre combinada en ambas normas, esto es respecto al comentario anterior.

(95 % intervalo de confianza)								
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

**Tabla 5 — Plantilla para la evaluación de las mediciones de incertidumbre para la validación del sistema (IEEE 1528: 2003 Tabla 6, 57)**

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e=f(d,k)</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h=c x f/e</i>	<i>i=c x g/e</i>	<i>k</i>
Componente de Incertidumbre	Cláusula	Tol ( $\pm \%$ )	Dist. de Prob.	Div.	$C_i$ (1 g)	$C_i$ (10 g)	$\frac{1 \text{ g}}{u_i (\pm \%)}$	$\frac{10 \text{ g}}{u_i (\pm \%)}$	$v_i$
<b>Sistema de Medición</b>									
Calibración de la sonda	7.2.1		N	1	1	1			$\infty$
Isotropía	7.2.1.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Efecto de Borde	7.2.1.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Linealidad	7.2.1.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Sistema de detección de límites	7.2.1.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Electrónica de lectura	7.2.1.6		N	1	1	1			$\infty$
Tiempo de respuesta	7.2.1.7		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Tiempo de Integración	7.2.1.8		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Condiciones de Ambiente RF - Ruido	7.2.3.6		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Condiciones de Ambiente RF - Reflexiones	7.2.3.6		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Tolerancia del posicionador mecánico de la sonda	7.2.2.1		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Posicionamiento de la sonda respecto a la carcasa del fantasma	7.2.2.3		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Post procesamiento	7.2.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
<b>Dipolo<sup>14</sup></b>									
Distancia del eje del dipolo al líquido	9, 7.2.2.4		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Entrada de potencia y Medición de la deriva de TAE	9, 7.2.3.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$

<sup>14</sup> COMENTARIO: Los cuadros que aparecen fondo verde, se encuentran en el estándar IEEE 1528: 2003, la cual es la incertidumbre del dipolo de referencia para la *validación del sistema*, sin embargo, esta no aparece en la Tabla 3 de la norma IEC 62209-1: 2005. El resto de las cláusulas son las mismas que para calcular la incertidumbre para las pruebas de TAE, exceptuando las “pruebas relacionadas con la muestra”.

**Tabla 5 — Plantilla para la evaluación de las mediciones de incertidumbre para la validación del sistema (continuación)** (IEEE 1528: 2003 Tabla 6, 58)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e=f(d,k)</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h=c x f/e</i>	<i>i=c x g/e</i>	<i>k</i>
Componente de Incertidumbre	Cláusula	Tol ( $\pm \%$ )	Dist. de Prob.	Div.	$C_i$ (1 g)	$C_i$ (10 g)	$1 \text{ g}$ $u_i (\pm \%)$	$10 \text{ g}$ $u_i (\pm \%)$	$v_i$
<b>Fantasma y parámetros de tejido</b>									
Incertidumbre del fantasma (tolerancia de la forma y grosor)	7.2.2.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			$\infty$
Conductividad del líquido – desviación de los valores de referencia	7.2.3.3		R	$\sqrt{3}$	0.64	0.43			$\infty$
Conductividad del líquido – medición de incertidumbre	7.2.3.3		N	1	0.64	0.43			<span style="color: green; border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">M</span> <span style="color: red; border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">N-1</span>
Permitividad del líquido – desviación de los valores de referencia	7.2.3.4		R	$\sqrt{3}$	0.6	0.49			$\infty$
Permitividad del líquido – medición de incertidumbre	7.2.3.4		N	1	0.6	0.49			<span style="color: green; border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">M</span> <span style="color: red; border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">N-1</span>
Incertidumbre combinada normalizada			RCSC						$v_{eff}$
Incertidumbre Expandida (95 % intervalo de confianza)			$k$ (o $t_p$ )						

Notas para las Tablas 4 y 5

1 – Las cabeceras de columnas *a-k* son dadas para referencia. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3 Nota 1, 97)

2 – Abreviaciones de usadas en estas tablas: (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3 Nota 2, 97)

- Tol. - Tolerancia en la cantidad influyente. Cuando  $c_i = 1$ , este es una tolerancia de TAE.
- RCSC – Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de una serie de valores  
<http://www.answers.com/topic/root-sum-square-value?cat=technology>
- N, R, U – normal, rectangular, distribuciones de probabilidad con forma de U
- div. - divisor usado para obtener el estándar de la incertidumbre.

3 – Las componentes de la incertidumbre indicada en esta tabla están basadas en los procedimientos de prueba y protocolos desarrollados para este documento. Cuando los protocolos y procedimientos varíen, diferentes componentes de incertidumbres pueden aplicar, por ejemplo, los parámetros definidos para probar otras configuraciones de fantasma y otras posiciones de los equipos bajo prueba. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3 Nota 3, 97)

4 – El divisor es una función de la distribución de probabilidad y de los grados de libertad ( $v_i$  y  $v_{eff}$ ). (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3 Nota 4, 97)

5 –  $c_i$  es el coeficiente de sensibilidad que debe ser aplicado para convertir la variabilidad de la componente de incertidumbre en variabilidad de TAE. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3 Nota 5, 97)

6 – Ver 7.1.3 para las discusiones de los grados de libertad ( $v_i$ ) para la incertidumbre normalizada y los grados efectivos de libertad ( $v_{eff}$ ) para la incertidumbre expandida. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3 Nota 6, 97)

7 – N en la columna  $v_i$  es el número de pruebas. (IEEE 1528: 2003 Notas Tabla 5 y 6, nota 8, 59) ver comentario de pie de pág. #15 y #16

- 8 – La tolerancia de 10 % de la constante dieléctrica utilizada para los líquidos basados en glicol para las frecuencias superiores a los 2 GHz. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3, nota 8, 97)
- 9 – Las incertidumbres de los parámetros de tejido, fantasma y del sistema de medición de la Tabla 5 deben ser iguales a las incertidumbres correspondientes de la Tabla 4. (IEEE 1528: 2003 Notas Tabla 5 y 6, nota 7, 59)
- 10 - Usar distribución rectangular y  $v_i = \infty$  cuando la incertidumbre del dispositivo de soporte es de un solo equipo de prueba. (IEEE 1528: 2003 Notas Tabla 5 y 6, nota 9, 97)
- 11 – Algunas de las magnitudes influyentes en la incertidumbre pueden ser estimadas a partir de la especificación del desempeño dado por el fabricante del equipamiento; la incertidumbre de ciertos componentes que varían de una prueba a otra pueden necesitar ser estimados para cada medición. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3, nota 9, 97)
- 12 – Todas las magnitudes influyentes en esta tabla son aplicables para las pruebas del *sistema de validación* excepto tres puntos en el grupo de *Pruebas Relacionadas con la Muestra* que es reemplazado por un grupo de *Dipolos* contenido dos magnitudes influyentes descritas como: Distancia del Eje del Dipolo al Líquido, Entrada de Potencia y Deriva de TAE. (IEC 62209-1: 2005 Tabla 3, nota 10, 97)

**COMENTARIO:** La nota 12 explica la diferencia entre la norma IEC 62209-1: 2005 y el estándar IEEE 1528: 2003 respecto a las tablas de incertidumbres. Sin embargo no especifican que subcláusulas aplican para estas dos magnitudes influyentes.

**COMENTARIO:** Para este anteproyecto de norma se usan las dos tablas, tal como las proporciona el estándar IEEE 1528: 2003, donde se especifican por separado las incertidumbres para cada prueba.

## 8 REPORTE DE MEDICIÓN

### 8.1 Generalidades

[ La evaluación de TAE de equipos móviles celulares requiere cierta información de soporte para demostrar que el equipo está dentro de los límites de exposición RF. Este reporte generalmente incluye descripciones de los protocolos de evaluación, del equipo, de las configuraciones del fantasma, de los procedimientos de mediciones y del análisis de incertidumbres para sustanciar la evaluación.

La información que describe la configuración en específico y los requerimientos de evaluación de un equipo de mano individual debe ser documentado con suficientes detalles en el correspondiente reporte de prueba de TAE para permitir que las pruebas se puedan repetir independientemente dentro de la incertidumbre de medición especificada. ] (IEEE 1528: 2003 7, 52)

[ Las demás directrices para el reporte de prueba pueden ser encontradas en 5.10 de la ISO/IEC 17025. [22] ] (IEC 62209-1: 2005 8, 97)

### 8.2 Puntos a registrar en un reporte de prueba

(IEC 62209-1: 2005 8, 97)

Se agregaron algunos puntos que se encuentran en el estándar IEEE 1528: 2003 7.1 para que fuese más descriptivo.

- Descripción general
  - Datos de referencia.
  - Descripción del EBP.
  - Estándares y/o normas usadas.
  - Categoría del EBP y límites de TAE aplicables.
  - Configuraciones de la prueba.<sup>15</sup>

15 **COMENTARIO:** En la norma IEC 62209-1: 2005 aparece la palabra “requerimientos”, pero no especifican cuales

6. Listado del equipamiento de prueba.
  - b) Sistema de medición
    - Sistema de medición.
    - Servidor de mediciones.
    - Dispositivo posicionador.
    - Configuración del fantasma.
    - Almacenamiento de la data.
    - Descripción de los procesos de interpolación y extrapolación.
  - c) Estimación de la incertidumbre – ver Tabla 4 y 5 en 7.3.
  - d) Detalles de la prueba
    - Condiciones de prueba.
    - Propiedades del líquido equivalente de tejido.
    - Posiciones del equipo bajo prueba.
    - Regiones de mediciones.
    - Procedimientos de medición promediado de 1 g o 10 g.
    - *Validación del sistema* y calibración del equipamiento.
    - Resultados de las prueba efectuadas.
  - e) Otros asuntos

## 8.2.a Introducción general

### 8.2.a.1 Datos de referencia

FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, pág. 2

En el reporte de prueba se debe colocar los datos del laboratorio que aplica la prueba (nombre del laboratorio, departamento, dirección, teléfono, fax, etc.), del cliente que solicita la prueba (nombre o compañía, dirección, teléfono, fax, etc.) y los datos del fabricante (nombre o compañía, dirección, teléfono, fax, etc.).

### 8.2.a.2 Descripción del equipo bajo prueba

Para documentar la forma, tamaño y características físicas del equipo de mano inalámbrico y la influencia de este en la evaluación de TAE se deben describir, ilustrar y fotografiar al EBP. La máxima potencia de salida del equipo de muestra, la tolerancia de salida, el tipo de antena y características de radiación, modos de operación, características de modulación, configuraciones de operación previstas, condiciones de exposición esperadas y cualquier otro dato técnico relevante debe ser especificado en el reporte de prueba para documentar la evaluación de TAE. (IEEE 1528: 2003 7.1.1, 52)

El modelo y número serial del equipo de prueba, incluyendo su diseño y tolerancias operativas, físicas, mecánicas, y condiciones de operación, deben ser claramente documentadas en el reporte de TAE. Los modos de operación (por ejemplo, AMPS, TDMA, CDMA, etc.), frecuencias de pruebas,

---

son, sin embargo, se interpreta que se refieren a las condiciones y requerimientos ambientales, configuraciones de la prueba y lista del equipamiento de medición usados en la prueba.

pico de potencia de la envolvente, y máximo nivel de salida de potencia en tiempo promedio deben ser verificados antes de las pruebas de TAE y documentados en el reporte de pruebas.

La máxima potencia de salida, el mayor factor de trabajo, y condiciones de operación deben ser completamente documentadas para cada modo de operación del equipo de mano. ] (IEEE 1528: 2003 7.1.8, 53)

#### **8.2.a.3 Estándares y/o normas usadas**

FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 3.3 pág. 5)

Deben especificarse en el reporte de pruebas los estándares y/o normas que regulen los límites aplicables de TAE, así como aquellas usadas y aplicables para los procedimientos de medición de TAE.<sup>16</sup>

#### **8.2.a.4 Categoría del EBP y límites de TAE aplicables**

FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 3.4, pág. 5)

Se debe especificar la categoría a la cual pertenece el equipo y el límite que debe ser aplicado.

#### **8.2.a.5 Configuraciones de la prueba**

[ Se debe especificar el tipo de enlace de la comunicación (BSS, software de prueba, etc.), colocando el estándar de comunicación, tasa de datos, etc., canales probados, factor de trabajo ] FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 3.5.2, pág. 5), [ estado de la batería durante la prueba, posicionamiento de la antena conectada a la salida de la BSS y el modelo específico de fantasma ] (IEEE 1528: 2003 7.1.2, 52).

#### **8.2.a.6 Listado del equipamiento de prueba**

(IEEE 1528: 2003 7.1.3, 52)

Una lista completa de los equipos y accesorios usados por los procedimientos de la prueba deben ser incluidos en el reporte de la prueba. La información debe incluir el modelo, fabricante, número serial y fecha de calibración de cada instrumento usado, incluyendo el equipamiento empleado para verificar el sistema de TAE y para caracterizar los parámetros dieléctricos.

### **8.2.b Sistema de medición**

#### **8.2.b.1 Sistema de medición**

[ Se debe ilustrar gráficamente el montaje del sistema de medición de TAE, señalando los elementos que lo componen. Debe colocarse una lista de especificaciones técnicas de la sonda de campo-E con sus principales características (condiciones de calibración, rango de frecuencia, rango dinámico, dimensiones, etc.), ] FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 5/5.1, pág. 10) [ describir las características principales del sistema electrónico de adquisición de datos, especificaciones de la PC (sistema operativo, procesador, software de medición, etc.) ] TMCMII, Test Report N° 2006E01938, 4.2, pág. 8) [ y los valores de calibración de la sonda de campo-E (sensibilidad, punto de compresión del diodo, etc.). ]

<sup>16</sup> COMENTARIO: Esta subcláusula no se encuentra especificada en ninguna norma o estándar, sin embargo, la IEC 62209-1: 2005, especifica que los estándares y normas que se utilicen en la prueba deben ser nombrados en el reporte de prueba. Para esto he especificado de esa manera la subcláusula tomando en cuenta como fueron colocados los estándares y normas en el Test Report N° 2006E01938 del laboratorio “Telecommunication Metrology Center of Ministry of Information Industry” y en el Test Report N° FA670515-1-2-01 del laboratorio “SPORTON International”.

### **8.2.b.2 Dispositivo posicionador**

FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 5.3, pág. 11)

Se debe especificar el dispositivo que posicionará la sonda de campo-E durante la prueba de TAE, indicando su modelo, cantidad de ejes, resolución y características relevantes del dispositivo.

### **8.2.b.3 Servidor de mediciones**

FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 5.4, pág. 11)

Especificar en el reporte de TAE el tipo de procesador y la velocidad de procesamiento de datos del CPU, memoria RAM, interfaz de comunicación con el sistema de evaluación de datos y las tareas que esté realiza.

### **8.2.b.4 Configuración del fantasma**

[ La tolerancia de fábrica de la carcasa del fantasma, incluyendo la forma, dimensiones, y grosor de la carcasa debe ser incluida en el reporte de TAE para demostrar que los requerimientos del fantasma han sido satisfechos. Una copia del certificado de la tolerancia de fábrica de la carcasa del fantasma debe ser incluida en el reporte de prueba. ] (IEEE 1528: 2003 7.1.6, 53) [ Ilustraciones del fantasma usado para evaluar las condiciones de exposición deben ser colocadas en el reporte de prueba. ] (IEEE 1528: 2003 7.1.2, 52)

### **8.2.b.5 Almacenamiento de la data**

FCC SAR Test Report FA670515-1-2-01, 5.4, pág. 11)

Se debe especificar en el reporte de prueba el formato y las unidades en la cual es almacenada la data y si esta puede ser exportada para ser evaluada por otro paquete de software.

### **8.2.b.6 Procedimientos de interpolación y extrapolación**

(IEEE 1528: 2003 7.1.10, 54)

Los algoritmos usados en el *barrido de área* y *barrido volumétrico* deben ser verificados de acuerdo a los procedimientos dados en el Anexo C, y documentados en el reporte de prueba. El número de mediciones y puntos de data interpolada debe satisfacer los requerimientos especificados en la cláusula 6, ser incluido y descrito en el reporte.

## **8.2.c Estimación de la incertidumbre**

(IEEE 1528: 2003 7.1.13, 54)

Las mediciones de incertidumbres del equipo bajo prueba, los procedimientos de evaluación, parámetros dieléctricos del líquido equivalente de tejido, configuraciones del equipo bajo prueba, y otras condiciones de medición deben ser determinadas de acuerdo a los procedimientos en la cláusula 7. La incertidumbre expandida de la evaluación de TAE y su aplicabilidad debe ser claramente documentada para calificar en los resultados de la prueba. Plantillas de muestra para el reporte de la medición de la incertidumbre de una evaluación de TAE y validación del sistema son mostradas en las Tablas 4 y 5.

## **8.2.d Detalles del equipo y de la prueba**

### **8.2.d.1 Condiciones de prueba**

Se debe especificar en el reporte de prueba la temperatura de ambiente a la cual se realizaron las mediciones, la temperatura del líquido equivalente de tejido y la humedad en el ambiente.

#### 8.2.d.2 Propiedades del líquido equivalente de tejido

[ Las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido usado en la evaluación de TAE debe ser caracterizado de acuerdo a los procedimientos descritos en el Anexo H. La conductividad y permitividad relativa medida del medio del tejido a la frecuencia de operación del EBP debe estar dentro del 5 % del valor de referencia especificado en la subcláusula 5.2.4, pero debido a las dificultades en obtener líquido equivalente de tejido consistente a frecuencias mayores de 2 GHz, son aceptables los valores de constantes dieléctricas con un 10 % del valor de referencia, hasta que formulaciones más convenientes estén disponibles. La permitividad y conductividad del líquido equivalente de tejido debe ser caracterizado dentro de cada banda de transmisión del EBP y fuente RF usada en *chequeo del sistema*. ] (IEEE 1528: 2003 7.1.7, 53)

[ Se debe hacer un resumen de la composición de los ingredientes, requerimientos de mezclas, condiciones ambientales, frecuencias de prueba, procedimientos de medición y los parámetros dieléctricos medidos del líquido equivalente de tejido, con la finalidad de ser incluidos en el reporte de prueba. Si se usan fórmulas de líquidos equivalentes de tejido diferentes a las descritas en el Anexo G, su composición y cualquier parámetro intermedio o curva de datos de los procedimientos de pruebas seleccionados deben también ser incluidos en el reporte de prueba para información de soporte adicional. ] (IEEE 1528: 2003 7.1.7, 53)

#### 8.2.d.3 Posiciones del equipo bajo prueba

(IEEE 1528: 2003 7.1.9, 54)

Los ángulos y distancias de separación establecidas por el equipo bajo prueba y el fantasma deben ser identificados en el reporte de prueba para documentar la precisión de posicionamiento. Para ciertas posiciones donde se espera que los niveles de TAE sean muy bajos, y una evaluación completa sea innecesaria, las condiciones de excepción deben ser claramente colocadas en el reporte de prueba. Las posiciones de prueba únicas deben ser claramente ilustradas y documentadas.

#### 8.2.d.4 Regiones de mediciones

(IEEE 1528: 2003 7.1.11, 54)

Los bordes del *barrido de área* y del *barrido volumétrico* deben ser claramente identificados en el reporte de prueba. El equipo bajo prueba y su antena deben estar delineados en las gráficas de distribución de TAE para ilustrar la extensión de la región de medición y el máximo de TAE correspondiente.

#### 8.2.d.5 Procedimientos de promediado de 1 g o 10 g

(IEEE 1528: 2003 7.1.12, 54)

La resolución espacial de las mediciones del *barrido de área* y del *barrido volumétrico*, y las resoluciones usadas por los algoritmos de interpolación y extrapolación con la finalidad de determinar el TAE más alto en 1 g o 10 g, deben ser reportados. Se debe describir y reportar el número de puntos de datos, los algoritmos de búsqueda e integración usados para obtener el TAE más alto (1 g o 10 g) dentro del *barrido volumétrico*, y las múltiples locaciones de picos y valores de TAE si estos aplican en la prueba.

### **8.2.d.6 Resultados del control de la validación del sistema**

(IEEE 1528: 2003 7.1.4, 53)

El sistema de TAE, incluyendo las calibraciones de las sondas de campo-E, debe ser validado de acuerdo a los protocolos especificados en esta norma (ver cláusula 9). El desempeño del sistema debe ser validado anualmente o de acuerdo a los requerimientos especificados en esta norma con la finalidad de confirmar las especificaciones de todo el sistema. Los resultados de la validación y calibración deben ser mantenidos en el registro de mantenimiento del sistema para llevar un seguimiento del desempeño y estabilidad en el largo término, y debe estar disponible para auditorias si estas son solicitadas. Otros equipos como medidores de potencia, analizadores de redes, fuentes de dipolos, acopladores direccionales, atenuadores, generadores de señal y amplificadores, deben ser calibrados también de acuerdo a los procedimientos aceptables. Para equipos que estén construidos en sus propios procedimientos de calibración, estos deben ser seguidos, debiendo mantenerse en el registro del mantenimiento del sistema los resultados de su calibración y todo el soporte del equipamiento requerido.

Los aspectos operacionales del sistema de TAE deben ser verificados para confirmar que el desempeño está dentro de los límites especificados por fabricante para evaluar un equipo. Una breve descripción de la configuración de la prueba, fuente RF, especificación del fantasma, datos de los valores de referencia y resultados de las mediciones deben ser agregados al reporte de prueba para demostrar la precisión del sistema.

### **8.2.d.7 Resultados de las mediciones efectuadas**

(IEC 62209-1: 2005, 8.2, 99)

Se debe especificar el máximo valor de TAE medido para cada prueba, la representación gráfica de los barridos gruesos respecto al equipo para el valor máximo de TAE en cada modo, posición, banda y configuración de la antena, y una declaración de conformidad respecto a la restricción básica recomendada.

## **8.2.e Otros asuntos**

(IEEE 1528: 2003 7.1.14, 55)

El alcance de esta norma está limitada a los procedimientos de medición de TAE para equipos que operan cerca del oído humano. Otras condiciones de operación como configuraciones de equipos portados sobre el cuerpo usando cinturones, arneses u otras posiciones de la cabeza, no están cubiertas por esta norma. Aunque no estén dentro del alcance, dichas condiciones y configuraciones pueden necesitar ser consideradas durante la evaluación de cada equipo de mano en específico y descrito apropiadamente en el reporte de medición.

## **9 VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TAE**

Toda la cláusula 9 proviene de (IEEE 1528: 2003, 8, 59)

### **9.1 Introducción**

Esta cláusula provee procedimientos para los tres siguientes niveles de verificación del sistema de medición de TAE:

- 3 *Chequeo del sistema*
- 4 *Validación del sistema*

## 5 Comparación interlaboratorio

### 9.1.1 Chequeo del sistema

IEEE 1528: 2003, 8.1.1

El *chequeo del sistema* provee un simple, rápido y confiable método de prueba que puede ser realizado diariamente o antes de cada medición de TAE. El objetivo es comprobar que los componentes del sistema aun están en los límites de calibración del laboratorio, incluyendo efectos de deriva. Esto requiere un fantasma plano y una *fuente estándar*, por ejemplo, un dipolo de media onda.

### 9.1.2 Validación del sistema

IEEE 1528: 2003, 8.1.2

La *validación del sistema*<sup>17</sup> utiliza un fantasma plano y un dipolo de referencia (ver Anexo E). Así, el sistema de validación verifica la exactitud del sistema contra sus especificaciones pero no incluye la incertidumbre debido al uso de fantasmas antropomórficos, ni incluye la incertidumbre debido a la variabilidad de la posición del equipo bajo prueba. La prueba es realizada anualmente (por ejemplo después de la calibración de la sonda), antes de mediciones relacionadas a la comparación interlaboratorios y cada vez que se hagan modificaciones al sistema.

### 9.1.3 Comparaciones interlaboratorios

IEEE 1528: 2003, 8.1.3

Consiste en la circulación de un equipo de prueba de referencia para el cual es evaluado la TAE usando un fantasma estándar antropomórfico. Los resultados compilados son usados para cuantificar una incertidumbre de medición global asociada con un protocolo de pruebas en particular.

## 9.2 Chequeo del Sistema

(IEEE 1528: 2003, 8.2, 60)

### 9.2.1 Propósito

El propósito del *chequeo del sistema* es verificar que el mismo opera dentro de sus especificaciones en la frecuencia de prueba del equipo. El *chequeo del sistema* es un simple chequeo de repetibilidad para asegurar que este trabaje correctamente en el momento de la realización de la prueba, no es una verificación del sistema respecto a estándares externos. El sistema de chequeo debe detectar posibles derivas a corto plazo y errores en el sistema, tales como:

- a) Cambio en los parámetros del líquido (por ejemplo, debido a la evaporación de agua o cambio de temperatura)
- b) Fallas en los componentes del sistema de prueba
- c) Derivas en componentes del sistema de prueba
- d) Errores de operadores en la configuración o parámetros del software
- e) Otras posibles condiciones adversas en la configuración del sistema

El *chequeo del sistema* es una medición completa de pico espacial promedio de TAE (1 g o 10 g) en una configuración de prueba simplificada con una fuente estándar. Este debe ser realizado usando el líquido equivalente de tejido especificado y a la frecuencia fija escogida que esté dentro del  $\pm 10\%$  de

<sup>17</sup> El término *validación del sistema* en estándares regionales o internacionales (por ejemplo, CENELEC EN 50361:2001), puede ser usado para referirse a pruebas usando equipos de prueba de referencia con el fantasma estándar antropomórfico.

conformidad con la prueba en la frecuencia de media banda.

El *chequeo del sistema* es realizado previo a las pruebas de conformidad, y los resultados deben estar siempre dentro del  $\pm 10\%$  del valor de referencia correspondiente a la frecuencia de prueba, líquido y la fuente usada. Los valores de referencia son los valores de 1 g o 10 g de TAE promedio medidos en sistemas que tienen estatus actual de calibración y validación *del sistema*, y usando el montaje de *chequeo del sistema* como se muestra en la Figura 15.

### 9.2.2 Fantasma

**IEEE 1528: 2003, 8.2.2**

Se usa un fantasma plano tal y como está descrito en 5.2.2.2.

### 9.2.3 Fuente estándar

**IEEE 1528: 2003, 8.2.3**

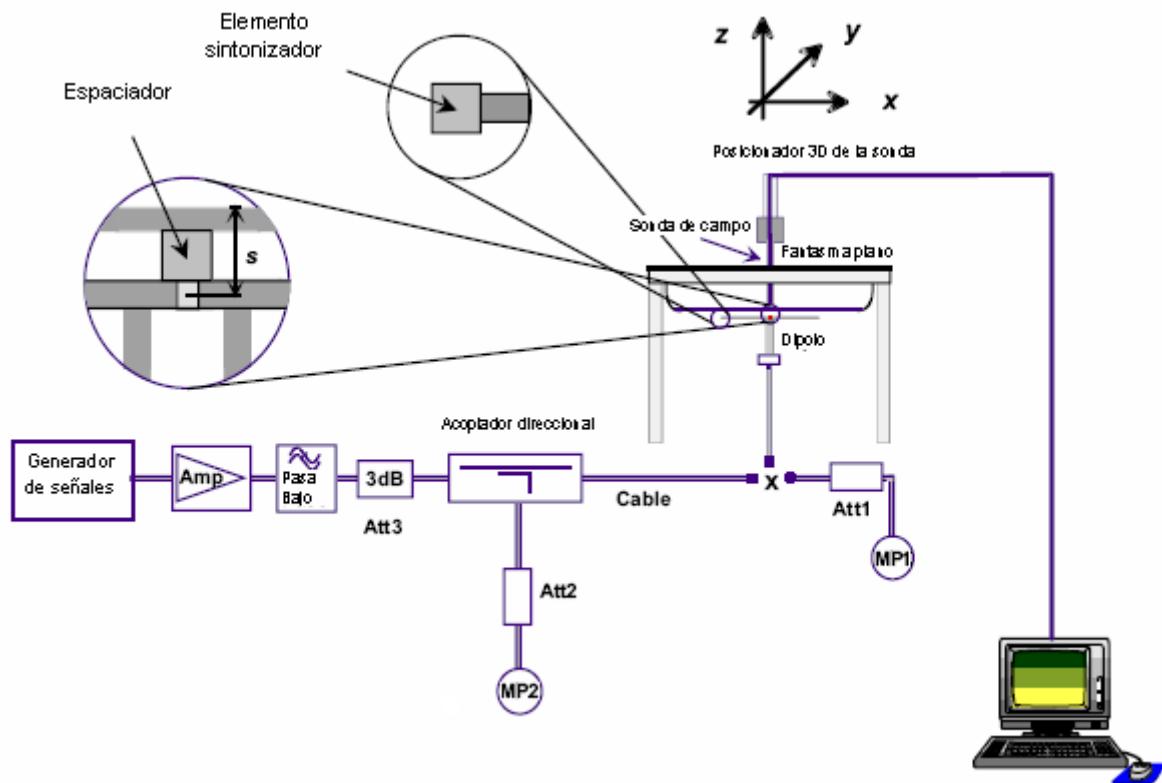
El fantasma debe ser irradiado usando una fuente estándar para la frecuencia requerida, por ejemplo, un dipolo de media onda o antena de panel (patch antenna). Los dipolos de referencia usados para la validación del sistema en el Anexo E, pueden ser usados para el *chequeo del sistema*, pero no es obligatorio. Para asegurar una buena repetibilidad en las mediciones de TAE, se deben seleccionar fuentes estándares que tengan buena repetibilidad de posicionamiento, estabilidad mecánica y eléctrica, e impedancia compatible. La fuente estándar debe tener una pérdida por retorno mejor que -20 dB (como se midió en la configuración de la prueba) a la frecuencia de prueba para reducir la incertidumbre en la medición de potencia. En las siguientes instrucciones de posicionamiento, se utiliza un dipolo de media onda como ejemplo de una fuente estándar.

Un dipolo de media onda debe ser colocado debajo del fondo del fantasma, y centrado con su eje paralelo al lado más largo del fantasma. La distancia entre la superficie del fantasma plano y el centro del dipolo (véase “s” en la Figura 15), debe ser especificada para cada frecuencia de prueba. Un espaciador de baja pérdida y baja permitividad relativa debe ser usado para establecer y corregir la distancia entre el tope de la superficie del dipolo y el fondo de la superficie del fantasma. Para otras fuentes estándares, la distancia “s” debe ser definida de acuerdo a la estructura de la fuente. Para asegurar la repetibilidad, los mismos dipolos (u otras fuentes controladas) y espaciadores serán siempre usados por el sistema de chequeo. La tolerancia aceptada para la distancia “s” debe estar dentro de los  $\pm 0.2$  mm.

### 9.2.4 Medición de la potencia de entrada de la fuente normalizada

**(IEEE 1528: 2003, 8.2.4, 61)**

La incertidumbre de la potencia de la fuente debe ser tan baja como sea posible. Esto requiere el uso de una configuración de prueba con acopladores direccionales y medidores de potencia durante el *chequeo del sistema*. El montaje recomendado es mostrado en la Figura 15, la cual usa un dipolo de media onda como ejemplo de una fuente estándar.



**Figura 15 – Implementación del chequeo del sistema. Vistas ampliadas muestran el espacio “s” dipolo-líquido, y un ejemplo del elemento ajustador (9.3.3). El fantasma mostrado es para propósito de ilustración solamente – referirse a 5.2.2.2 para ver los requerimientos del fantasma.<sup>18</sup>**

Primero, el medidor de potencia MP1 (incluyendo su atenuador Att1) es conectado al cable para medir la potencia incidente en el lugar del conector del dipolo (X). El generador de señales es ajustado a la potencia incidente deseada en el conector del dipolo (tomando en cuenta el valor de Att1) y el medidor de potencia MP2 es leído a ese nivel. Después de conectar el cable al dipolo, la señal del generador es reajustada para obtener la misma lectura en el medidor de potencia MP2. Si la señal del generador no permite ajustes en pasos de 0.01 dB, la diferencia restante debe ser tomada en consideración (por ejemplo, escalando el valor de TAE medido contra la diferencia de potencia). El acoplamiento del dipolo debe ser chequeado usando un analizador de red para asegurar que la potencia reflejada sea al menos de 20 dB por debajo de la potencia incidente ](IEEE 1528: 2003, 8.2.4, 61).

18 Esta configuración es diferente para la norma IEC 62209-1: 2005 y EN 50361: 2001, en estas dos normas se agrega en el acoplador direccional un MP3 para medir la potencia reflejada del dipolo y asegurar que esté 20 dB por debajo de la potencia incidente.

Luego de una consulta al prof. de la escuela de Ingeniería Eléctrica Luis Fernández, y grupos de trabajo con el prof. Carlos Pantsios, se concluyó que podría haber un error en la configuración del montaje de las normas IEC 62209-1: 2005 y EN 50361: 2001 (debido a que el medidor de MP3 debería estar en la posición de MP2). Se llegó a la conclusión que la configuración más óptima es la del estándar IEEE 1528: 2003, debido a que usando el analizador de redes (al menos 1 vez al año según la IEC 62209-1: 2005 D.2.4) se puede verificar que la potencia reflejada del dipolo esté 20 dB por debajo de la potencia incidente y de no ser así ajustarlo con los elementos sintonizadores (los cuales no están en las otras dos normas). Usando solamente 2 medidores de potencia es suficiente para poder medir la potencia incidente y verificar la reflejada durante las mediciones.

La configuración y requerimientos de instrumentación son:

- a) El generador de señales y el amplificador deben ser estables dentro del 2 % (estabilidad en corto término después de calentarse). La potencia incidente en el dipolo debe ser lo suficientemente alto para producir una TAE excediendo el nivel más bajo de detección del sistema de prueba (el límite del nivel más bajo es 10 mW/kg, ver B.5). El rango de TAE recomendado para 1 g o 10 g es de 0.4 W/kg – 8 W/kg. Sí el generador de señales puede entregar 15 dBm o más, un amplificador no es necesario generalmente. Algunos amplificadores de alta potencia no deben ser operados a un nivel muy por debajo de su máximo de potencia de salida, por ejemplo, un amplificador de 100 W de potencia operado a 250 mW podría ser muy ruidoso. Un atenuador entre el generador de señal y el amplificador es recomendado para proteger la entrada del amplificador.
- b) El filtro pasabajo insertado después del amplificador reduce el efecto de armónicos y ruido del amplificador. El filtro no debe ser necesario para la mayoría de los amplificadores en los rangos de operación normal.
- c) El atenuador después del amplificador mejora el acoplamiento de la fuente y la exactitud del sensor de potencia (consultar el manual del medidor de potencia).
- d) El acoplador direccional (recomendado un acoplador con coeficiente de acoplamiento de -20 dB) es usado para monitorear la potencia incidente y ajustar la salida del generador de señales para una potencia incidente constante. Un acoplador de mediana calidad es suficiente porque las cargas (dipolo y cabeza de potencia (power head)) están ambos bien acoplados.
- e) [ El medidor de potencia MP2 deben tener una deriva baja y una resolución de 0.01 dB, de lo contrario la exactitud tendría un impacto insignificante en los ajustes de potencia (una calibración absoluta no es necesaria). ] (IEC 62209-1: 2005, D.2.4, 159)
- f) El medidor de potencia MP1 y el atenuador Att1 deben ser componentes de alta calidad. Estos deben ser calibrados preferiblemente juntos. El atenuador (-10 dB) mejora la exactitud de la lectura de potencia (algunas cabezas de alta potencia (high-power heads) vienen equipadas con un atenuador calibrado incorporado). La atenuación exacta del atenuador en la prueba de frecuencia debe ser conocida – muchos atenuadores varían por encima de los 0.2 dB del valor especificado.
- g) [ Usar el mismo nivel de potencia de salida del generador de señal para la prueba de MP1 como para la medición actual, para evitar linealidad y errores en el cambio de rangos en los medidores de potencia MP2. Si el nivel de potencia es cambiado, el procedimiento de ajuste de nivel de potencia debe ser repetido. ](IEC 62209-1: 2005, D.2.4, 159)
- h) El dipolo debe ser conectado directamente al cable en el lugar “X”. Si el medidor de potencia tiene un diferente sistema de conexión, adaptadores de alta calidad deben ser usados.

### 9.2.5 Procedimiento de chequeo del sistema

El *chequeo del sistema* es una medición completa de TAE promediado en 1 g o 10 g. El valor de la medición de TAE promedio de 1 g (o 10 g) es normalizada al valor de referencia de la potencia de entrada de la fuente estándar, y comparada con el valor de referencia previamente determinado en 1 g (o 10 g) correspondiente a la medición de frecuencia, la fuente estándar y el fantasma específico. La diferencia de los valores del *chequeo del sistema* previamente grabados debe estar dentro del  $\pm 10\%$ .

## 9.3 Validación del Sistema

Toda la subcláusula 9.3 proviene de (IEEE 1528: 2003, 8.3, 62)

### 9.3.1 Propósito

IEEE 1528: 2003, 8.3.1

El procedimiento de *validación del sistema* evalúa el sistema contra valores de referencia de TAE y el desempeño de la sonda, electrónica de lectura y software. Su implementación utiliza un fantasma plano y un dipolo de referencia. Esta no incluye variación de la data debido al uso de fantasmas antropomórficos o incertidumbre debido a la variabilidad de la posición del equipo bajo prueba.

La *validación del sistema* debe ser llevado a cabo anualmente, cuando un nuevo sistema es colocado en operación, o siempre que se hayan hecho modificaciones al sistema, por ejemplo, una nueva versión de software, diferente electrónica de lectura o diferentes tipos de sondas. La sonda usada en esta prueba debe estar debidamente calibrada.

Los valores de TAE de referencia calculados numéricamente para el uso en la *validación del sistema* son mostrados en la Tabla 5.

### 9.3.2 Fantasma

IEEE 1528: 2003, 8.3.2

El fantasma plano descrito para el *chequeo del sistema* (ver 5.2.2.2 y Figura 15) es también usada para la *validación del sistema*. Esta debe ser realizada usando un líquido equivalente de tejido de la cabeza teniendo propiedades dieléctricas como las definidas en la Tabla 1.

### 9.3.3 Fuente dipolo de referencia

IEEE 1528: 2003, 8.3.3

El fantasma debe ser irradiado usando un dipolo de referencia como el que se señala en el Anexo E para la frecuencia requerida. El dipolo de referencia debe ser colocado debajo del fondo del fantasma y centrado con su eje paralelo al lado más largo del fantasma. La distancia entre la superficie del fantasma plano y el centro del dipolo (véase “s” en la Figura 15), debe ser especificada para cada rango de frecuencia. Un espaciador de baja pérdida y baja permitividad relativa debe ser usado para establecer la distancia correcta entre el tope de la superficie del dipolo y el fondo de la superficie del fantasma. El espaciador no debe cambiar los valores medidos en más de 1 % comparado a si no hubiera espaciador. La distancia entre el borde del líquido en el fantasma y el eje del dipolo de referencia (designado como “s” en la Figura 15) es especificado que esté dentro de los 0.2 mm para cada prueba de frecuencia. El dipolo debe tener una pérdida por retorno mejor que -20 dB (medido en la configuración de la Figura 15) en la frecuencia de prueba. Para cumplir este requerimiento, es aceptable un ajuste fino de los dipolos de referencia usando un dieléctrico de baja pérdida o elementos de ajuste de metal donde terminan los dipolos, como se muestra en la Figura 15.

Para los dipolos de referencia descritos en el Anexo E, la distancia espaciadora “s” es dado por:

- $s = 15 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$  para  $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1000 \text{ MHz}$
- $s = 10 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$  para  $1000 \text{ MHz} < f \leq 3000 \text{ MHz}$

Los brazos del dipolo de referencia deben ser paralelos a la superficie plana del fantasma lleno de líquido con una tolerancia de  $\pm 2^\circ$  o menos, esto se puede lograr con un nivel de burbuja.

### 9.3.4 Medición de potencia de entrada al dipolo de referencia

IEEE 1528: 2003, 8.3.4

La configuración de la medición de potencia de entrada descrita para el *chequeo del sistema* (9.2.4) también es usada para las pruebas de *validación del sistema*.

### 9.3.5 Requerimientos ambientales

IEEE 1528: 2003, 8.3.5

Se encuentran especificados en 5.1.

### 9.3.6 Procedimientos de validación del sistema

IEEE 1528: 2003, 8.3.6

La validación *del sistema* es usada para verificar la exactitud de la sonda y la electrónica de lectura, y desempeño del software. La posición del equipo y errores de la forma de la cabeza del fantasma no son considerados. El procedimiento de la *validación del sistema* consiste en seis pasos. Paso a) es la parte más importante del procedimiento de *validación del sistema*, y debe ser hecha al menos cada 24 horas. Pasos b) hasta f) (recomendado) ofrecen un medio para rápida y simple validación del desempeño de la sonda, electrónica de lectura y software. Las pruebas adicionales de los pasos b) hasta f) deben ser hechos siempre que los componentes del sistema hayan sido modificados (por ejemplo, nueva versión del software, nueva electrónica de lectura, nuevo tipo de sonda, etc.) Los procedimientos de *validación del sistema* son como siguen a continuación:

- **Evaluación de TAE:** Una medición completa de 1 g o 10 g de TAE promedio es realizada. La entrada de potencia del dipolo de referencia es ajustada para producir 1 g de TAE promedio llevándolo al rango de 0.4 W/kg - 10 W/kg. La TAE promedio de 1 g o 10 g es medido a las frecuencias de la Tabla 5 dentro del rango a ser usado en la prueba de conformidad. Los resultados son normalizados a 1 W de entrada de potencia y comparado con los valores de referencia de TAE mostrados en las columnas 2 y 3 de la Tabla 5. Las diferencias de los valores de referencia de la Tabla 5 deben ser menores que la tolerancia especificada para el sistema de mediciones de TAE dado por el fabricante o diseñador, es decir, dentro de la incertidumbre expandida para el *sistema de validación* usando los procedimientos de la Tabla 5.
- **Rutina de extrapolación:** Valores locales de TAE son medidos a lo largo de un eje vertical directamente sobre el punto de alimentación del dipolo de referencia usando el mismo espaciado de punto-cuadrícula de prueba que aquel usado para las evaluaciones de TAE en equipos. Esta medición es repetida a lo largo de otro eje vertical con 2 cm de desplazamiento transversal (dirección y de la Figura 15) del punto de alimentación del dipolo de referencia. Los valores de TAE en la superficie del fantasma son extrapolados y comparados con los valores numéricos dados en las columnas 4 y 5 de la Tabla 5. La diferencia entre estos y los valores de referencia dados en la Tabla 5 deben ser menores que la tolerancia especificada para las mediciones de sistemas de TAE dadas por el fabricante o diseñador, es decir, dentro de la incertidumbre expandida para el sistema de validación usando los procedimientos de la Tabla 5.
- **Linealidad de la sonda:** La medición en el paso a) es repetido usando diferentes niveles de potencia de entrada en el dipolo de referencia. El nivel de potencia es seleccionado para cada frecuencia para producir valores promedio de TAE de 1 g de aproximadamente 10 W/kg, 2

W/kg y 0.4 W/kg. La medición de los valores de TAE son normalizados a 1 W de potencia de entrada y comparados con los valores normalizados de 1 W del paso a). La diferencia entre esos valores deben ser menores que la tolerancia especificada para el sistema de medición de TAE dada por el fabricante o diseñador, es decir, dentro de la incertidumbre expandida para la componente de linealidad de la Tabla 5 usando los procedimientos de 7.2.1.3.

- **Respuesta de modulación:** Las mediciones en el paso a) son repetidas con las señales moduladas por pulsos teniendo un factor de trabajo de 0.1 y una tasa de repetición del pulso de 10 Hz. La potencia es ajustada para producir en un 1 g una TAE promedio de aproximadamente 8 W/kg con la señal modulada por pulsos (correspondiendo a un pico espacial promedio de TAE de 80 W/kg aproximadamente). Los valores de TAE medidos son normalizados a 1 W de potencia de entrada y un factor de trabajo de 1, y comparado con los valores normalizados de 1 W del paso a). La diferencia entre esos valores deben ser menores que la tolerancia especificada para el sistema de medición de TAE dada por el fabricante o diseñador, es decir, dentro de la incertidumbre expandida para el sistema de validación usando los procedimientos de la Tabla 5.
- **Sistema de offset:** Las mediciones en el paso a) son repetidos con una potencia de entrada en el dipolo de referencia que produzca un TAE promedio (en 1 g o 10 g) de aproximadamente 0.05 W/kg. Los valores de TAE medidos son normalizados a 1 W de potencia de entrada y comparados con los valores normalizados de 1 W del paso a). La diferencia entre esos valores deben ser menores que la tolerancia especificada para el sistema de medición de TAE dada por el fabricante o diseñador, es decir, dentro de la incertidumbre expandida para el sistema de validación usando los procedimientos de la Tabla 5.
- **Isotropía axial de la sonda:** El punto central del sensor de la sonda es colocado directamente sobre el centro del dipolo referencia a una distancia de medición de aproximadamente 5 mm - 10 mm desde la superficie interna del fantasma. La sonda (o dipolo de referencia, si es que el sujetador del dipolo soporta rotaciones precisas) es rotada sobre su eje  $\pm 180^\circ$  en pasos no mayores de  $15^\circ$ . El máximo y mínimo de las lecturas de TAE son registradas. La diferencia entre esos valores deben ser menores que la tolerancia especificada para el sistema de medición de TAE dada por el fabricante o diseñador, es decir, dentro de la incertidumbre expandida para el componente isotropía axial de la Tabla 5 usando los procedimientos de 7.2.1.2.

NOTA: La *validación del sistema* no es un procedimiento alternativo para la calibración de la sonda ni para la determinación de la incertidumbre de la cláusula 7. La sonda y la electrónica de lectura deben ser calibrados regularmente de acuerdo a los procedimientos dados en la cláusula 4 y Anexo B. La prueba de isotropía hemisférica no es evaluada en este sistema de validación.

### 9.3.7 Valores de referencia de TAE

IEEE 1528: 2003, 8.3.7

En la prueba de *validación del sistema*, el dipolo de referencia construido para la frecuencia  $f_i$  (descrito en el Anexo E) debe producir un valor de pico espacial promedio de TAE de referencia como se muestra en las columnas 2 y 3 de la Tabla 6, que esté dentro de la incertidumbre para la *validación del sistema* (Tabla 5). Columnas 4 y 5 de la Tabla 5 son usadas para validar las rutinas del sistema de extrapolación, como se describen en el ítem b) de 9.3.6. Los valores de referencia de TAE de la Tabla 5

fueron calculados usando un método de diferencia finita en el dominio del tiempo y parámetros geométricos de F.1.2 y la Tabla F.1, y comparados con los resultados medidos en configuraciones equivalentes en el rango de frecuencias de 450 MHz - 2450 MHz. Los valores de TAE local en las columnas 4 y 5 fueron verificados experimentalmente en las mismas frecuencias usando extrapolación polinomial de 4to. orden. Los valores de TAE para otro rango del espectro de frecuencia debe ser verificado experimentalmente, y los detalles del proceso de verificación debe estar dado en la próxima revisión de esta norma.

**Tabla 6 - Valores numéricos de referencia de TAE (W/kg) para dipolos de referencias y fantasma planos.**

Frecuencia (MHz)	1 g TAE	10 g TAE	TAE local en la superficie (Sobre el punto de alimentación) W/kg	TAE local en la superficie (y=2 cm de desvío del punto de alimentación) <sup>a</sup> W/kg
300	3.0	2.0	4.4	2.1
450	4.9	3.3	7.2	3.2
835	9.5	6.2	14.1 <sup>19</sup>	4.9
900	10.8	6.9	16.4	5.4
1450	29.0	16.0	50.2	6.5
1800	38.1	19.8	69.5	6.8
1900	39.7	20.5	72.1	6.6
2000	41.1	21.1	74.6	6.5
2450	52.4	24.0	104.2	7.7
3000	63.8	25.7	140.2	9.5

NOTAS:

1 – Todos los valores de TAE están normalizados a una potencia incidente de 1 W.

2 – Los valores de TAE para 1 g o 10 g son solamente válidos para la configuración del sistema de validación definido en 9.3.3, usando un fantasma que reúne los requerimientos de 5.2.2.2, con los parámetros eléctricos de los líquidos equivalente de tejido de la cabeza de acuerdo a como se definen en la Tabla 1, y dipolos de referencia con dimensiones como las definidas en la Tabla E.1.

<sup>a</sup> El comportamiento no monótono de los valores de TAE local en el offset transversal de 2 cm desde el punto de alimentación a las frecuencias de 1900 MHz y 2000 MHz es debido al valor de la conductividad seleccionada del líquido equivalente de tejido para esas frecuencias (ver Tabla 1).

## 9.4 Guías para la comparación interlaboratorio

Toda la subcláusula 9.4 proviene de (IEEE 1528: 2003, 8.4, 65)

### 9.4.1 Propósito

IEEE 1528: 2003, 8.4.1

El propósito de una comparación interlaboratorio de mediciones de TAE es cuantificar laboratorio a laboratorio la reproducibilidad y obtener estimados de todas las mediciones de incertidumbres de TAE y repeticiones asociadas con los protocolos de pruebas específicas. El concepto general de esto es usar

<sup>19</sup> En el estándar IEEE 1528: 2003, este valor es de 4.1 W/kg, sin embargo se tomó el valor de la norma más reciente la cual es la IEC 62209-1: 2005. Además, por lógica, este valor se va incrementando junto con la frecuencia, por lo tanto ha de ser 14.1 W/kg.

equipos de referencia, por ejemplo, un equipo típico inalámbrico poseído por un *laboratorio de monitoreo* (ver 9.4.3) y el fantasma antropomórfico MAE lleno con un líquido equivalente al tejido de la cabeza con parámetros dieléctricos como se especifican en la cláusula 5. Guías generales para complementar las pruebas de comparación interlaboratorios están dadas en la EA-2/03 [8] y la guía ISO/IEC 43-1:1997 [23], y deben ser consultados durante la planificación de la serie de pruebas y etapas organizacionales.

La data medida y análisis de incertidumbre reportados desde varios laboratorios deben ser comparados en una manera específica, por ejemplo, desviación normalizada respecto a las incertidumbres reportadas (EA-2/07 [9]). Si las diferencias y discrepancias entre los datos medidos pueden ser atribuidas a las diferencias a incertidumbres de medición, entonces la comparación interlaboratorio es considerada exitosa. Si no, todas las fuentes de errores deben ser investigadas por las recomendaciones de la cláusula 7. También todas aquellas que sean distintas a las allí nombradas, deben ser investigadas.

#### **9.4.2 Fantasma**

**IEEE 1528: 2003, 8.4.2**

El fantasma antropomórfico está descrito en la cláusula 5 y Anexo A. El fantasma debe tener una estructura de montaje hecha de un material rugoso con permitividad relativa menor de 5 y tangente de pérdida menor de 0.05. Deben evitarse los objetos metálicos a menos de 50 cm de la estructura. El fantasma será irradiado usando un equipo de referencia de acuerdo con las posiciones descritas en 6.1.

#### **9.4.3 Equipos inalámbricos de referencia y laboratorio de monitoreo**

**IEEE 1528: 2003, 8.4.3**

Los equipos de referencia son específicamente seleccionados, mantenidos y distribuidos por un laboratorio designado como un sitio de control o monitoreo. Algunos equipos pueden permitir mediciones fáciles y exactas de la potencia de salida en el puerto de la antena. Se debe tener en cuenta al designar equipos de referencia que la salida de potencia sea fácilmente medible. El laboratorio de monitoreo debe verificar la potencia radiada por el equipo de referencia usando un método de medición con buena repetibilidad.

El laboratorio de monitoreo proveerá los procedimientos para controlar la frecuencia y la salida de potencia del equipo de referencia. Su designación está basado en acuerdo mutuo de los laboratorios participantes.

#### **9.4.4 Medición de potencia de salida**

**IEEE 1528: 2003, 8.4.4**

La exactitud de la medición de la potencia de salida tiene un rol significante en la comparación interlaboratorio. La potencia de salida conducida de cada equipo debe ser verificada individualmente por los laboratorios participantes debiendo estar en el rango de los  $\pm 0.3$  dB del valor de referencia. Estas mediciones deben ser reportadas al laboratorio de monitoreo. La potencia de salida del equipo debe ser ajustada por prueba de software a un valor predeterminado y su batería debe estar completamente cargada.

Es requerido un gran esfuerzo para asegurar una medición precisa de la potencia de salida. Si se considera necesario, los equipos de referencia deben ser retornados al laboratorio de monitoreo periódicamente durante la campaña de comparación y la verificación de frecuencia. El laboratorio de

monitoreo y cada participante debe chequear la condición de todas las baterías para asegurar que la misma potencia de salida es usada en todos los laboratorios.

#### **9.4.5 Procedimiento de comparación interlaboratorio**

**IEEE 1528: 2003, 8.4.5**

Los procedimientos de medición para la evaluación de TAE usado en la comparación interlaboratorio son los mismos que aquellos usados para el cumplimiento de las pruebas en concordancia con la cláusula 5. El estado de la calibración de la sonda y la validación del sistema deben estar al día antes de realizar las mediciones de TAE en el proceso de comparación interlaboratorios. Cada laboratorio debe proveer un reporte de prueba completo en concordancia con las cláusulas 5 y 8, incluyendo *validación del sistema*, mediciones del líquido, datos de incertidumbre del sistema y datos de la medición de la potencia de salida. La medición de incertidumbre de cada laboratorio debe estar dentro de las guías para la incertidumbre expandida para la determinación de exposición de la Tabla 4. Los reportes de los diferentes laboratorios deben ser evaluados y comparados por el laboratorio designado de monitoreo.

## Anexo A (normativa)

Todo el Anexo A proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo A

### Especificaciones del fantasma

#### A.1 Razonamiento para la forma del fantasma

Las partes de la estructura del fantasma son los componentes esenciales de la dosimetría electromagnética. A pesar que es deseable que emulen los detalles anatómicos de las partes del cuerpo que ellos representan, no siempre es necesario o práctico. Es por lo tanto importante definir y estandarizar las características relevantes, dimensiones y propiedades del material que afecten las mediciones de TAE.

La repartición estadística de las formas y los tamaños anatómicos pueden ser obtenidos de estudios antropométricos de población humana para guiar la especificación de una forma realista del fantasma. Un estudio antropométrico realizado en 1988 del personal de la armada de los Estados Unidos proveyó una base de datos en una muestra de diferentes edades, razas e identidades étnicas [18]. La forma de la cabeza esta definida por un número de líneas y curvas como se ilustran en la Figura A.1.

Estudios dosimétricos sugieren que cabezas grandes (adulto, usuario masculino) captan más energía y constituyen un escenario de peor caso de exposición comparado a cabezas pequeñas (mujeres y niños) [33], [34], [56]. Una cabeza grande con dimensiones correspondientes al 90<sup>mo</sup> por ciento (adultos masculinos) debe ser usada para asegurar que también cubra sobre el 90 % de todos los usuarios que tienen cabezas más pequeñas y en consecuencia soportaran una exposición menor.

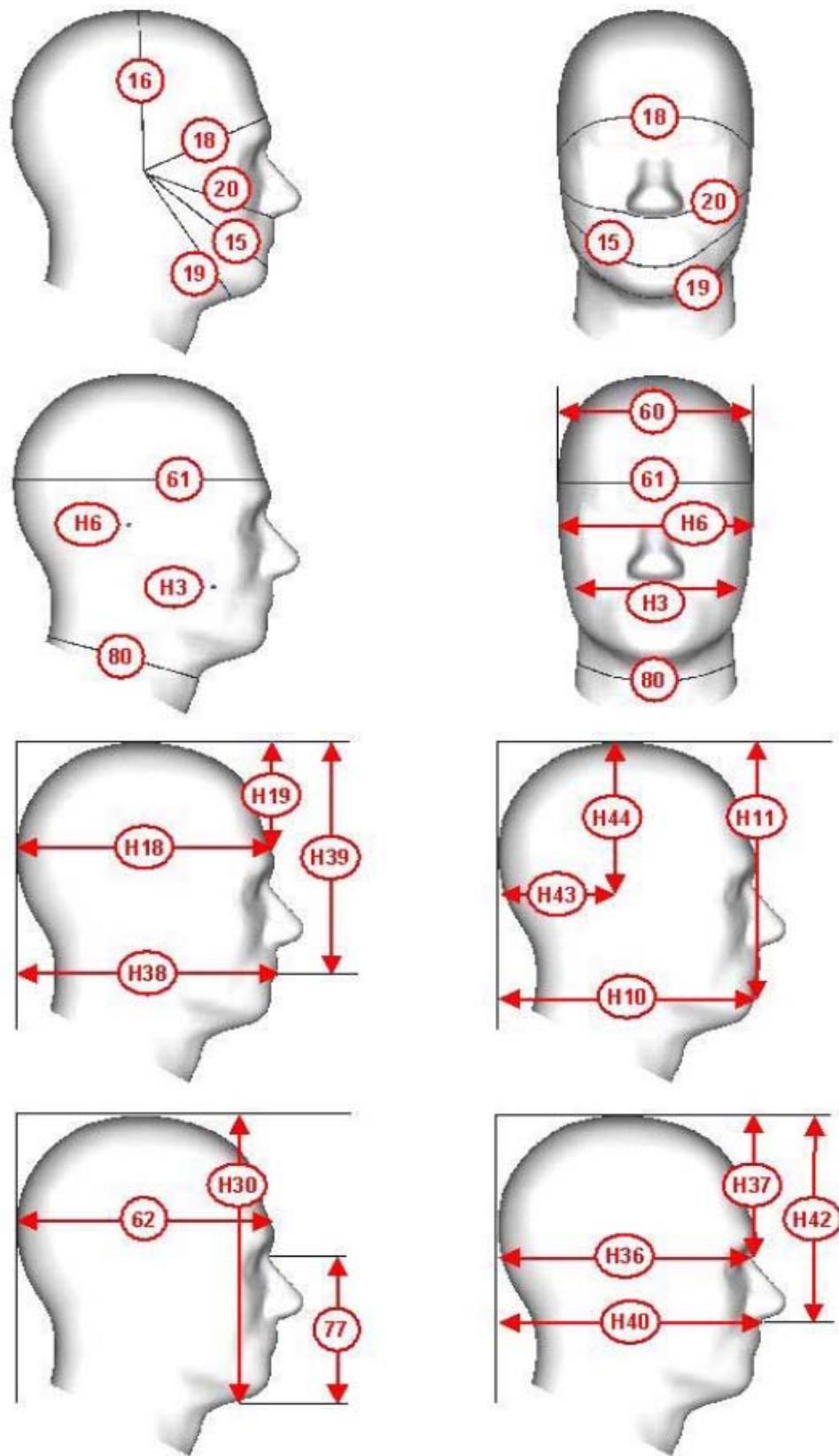
La protuberancia de la parte posterior de la oreja tiene un efecto directo en determinar la cercanía del equipo y antena a la cabeza, y es un parámetro importante para determinar la TAE. La protuberancia de la oreja debe ser ajustada para simular la presión del equipo sobre la oreja. La forma de la oreja es un factor de posicionamiento del equipo y debe ser designado para habilitar posiciones correctas y reproducibles.

Respecto a modelar la mano, hay dificultades prácticas en especificar una única posición de la mano que sostiene el equipo que sea aplicable para todos los equipos móviles. Además, estudios dosimétricos sugieren que no modelar la mano constituye un escenario más conservativo para la TAE en la cabeza [30]. Por esas razones, en esta norma el equipo móvil no es sostenido con un modelo de la mano durante las evaluaciones de TAE.

#### A.2 Especificaciones del fantasma MAE

Las dimensiones han sido deducidas del reporte de Gordon [18], y están listadas en la Tabla A.1 así como mostradas en la Figura A.1. La Tabla A.1 tendrá procedencia sobre la Figura A.1. Han sido agregadas guías específicas para considerar la condición particular de usar un equipo móvil cerca de la oreja y la mejilla, como se reporta en la Tabla A.2. Particularmente, en el punto de referencia de la oreja (ERP), un grosor de 6 mm incluyendo los 2 mm de la carcasa, es seleccionado para modelar la oreja externa (pabellón). Este espaciador de oreja delgado también simula usuarios con orejas pequeñas, y da una representación conservativa de TAE. Un sistema de puntos y líneas de referencia

debe ser usado para correlacionar la posición del equipo con el fantasma (Figura A.2). El punto "M" es el punto de referencia de la boca. "LE" es el punto de referencia de la oreja izquierda (ERP), y "RE" es el ERP derecho. Los ERP's están 15 mm posteriores a la entrada del canal auditivo (EEC) a lo largo de la línea B-M (por las siglas en inglés de atrás-boca, Back-Mouth) (Figura A.2).



**Figura A.1 - Ilustración de las dimensiones de la Tabla A.1.**

**Tabla A.1 - Dimensiones de la cabeza relevantes para la forma del fantasma MAE: dimensiones comparadas al 90<sup>mo</sup> por ciento de cabezas grandes masculinas del reporte de Gordon. [18]**

Ref.	Anatomía	Reporte de Gordon mm			MAE mm	Desviación %
		Valor promedio	Desviación estándar	90 <sup>mo</sup> por ciento		
H3	Ancho bigonial <sup>20</sup>	118.9	7.9	129.2	130.0	0.6
H6	Ancho bitragion <sup>21</sup>	114.8	6	152.3	152.7	0.2
H10	Mentón - Tras la cabeza	194.2	10.3	207.3	206.5	-0.4
H11	Mentón - Tope de la cabeza	216.8	8.9	228.3	220.4	-3.5
H18	Glabela - Tras la cabeza <sup>22</sup>	199.7	7.2	208.5	209.2	0.3
H19	Glabela - Tope de la cabeza	96.2	7.3	105.6	104.4	-1.1
H30	Base del maxilar - Tope de la cabeza	232.0	8.8	243.3	246.7	1.4
H36	Sellion <sup>23</sup> - Tras la cabeza	197	7.1	205.9	205.3	-0.3
H37	Sellion - Tope de la cabeza	112	6.9	120.9	121.7	0.7
H38	Estomion <sup>24</sup> - Tras la cabeza	199.4	9.6	211.9	211.4	-0.2
H39	Estomion - Tope de la cabeza	186.3	7.8	196.3	196.3	0.0
H40	Base de la nariz - Tras la cabeza	203.5	8.3	213.6	213.0	-0.3
H42	Base de la nariz - Tope de la cabeza	161.9	7.7	171.8	177.6	3.4
H43	Tragion - Tras la cabeza	98.9	8.5	106.4	106.4	0.0
H44	Tragion - Tope de la cabeza	131	5.7	138.2	138.2	0.0
15	Arco menton - bitragion	325.8	13.4	343.1	329.3	-4.0
16	Arco frontal parietal - bitragion	353.3	12.9	369.7	367.3	-0.6
18	Arco frontal - bitragion	304.3	10.6	318.2	314.1	-1.3
19	Arco sub-mandibular - bitragion	304.2	14.5	323.2	333.5	3.2
20	Arco sub-nasal - bitragion	292	11.1	306.3	305.3	-0.3
60	Ancho de la cabeza	151.7	5.4	158.6	158.4	-0.1

20 Gonion: punto craneométrico situado en la parte más interior, posterior y lateral del ángulo externo del maxilar  
[www.medicina.uanl.mx/plataforma/mod/glossary/view.php](http://www.medicina.uanl.mx/plataforma/mod/glossary/view.php)

21 Tragion: parte ósea más alta del conducto auditivo externo.  
[www.medmayor.cl/odontologia/segundo/anatomiaclinica/puntoscraeno.doc](http://www.medmayor.cl/odontologia/segundo/anatomiaclinica/puntoscraeno.doc)

22 Glabela: entrecejo. Parte del hueso frontal correspondiente al entrecejo  
<http://www.medicina.uanl.mx/plataforma/mod/glossary/view.php>

23 Se buscó en más de 10 diccionarios online de medicina y en ninguno aparece el término, ya sea en inglés o en español. No aparece ninguna definición ni traducción por lo que se dejó la palabra en inglés. El término que más se acerca es el de: **Nasion o Nasal**: la cual corresponde a la zona articular entre huesos nasales y el frontal.  
[www.medmayor.cl/odontologia/segundo/anatomiaclinica/puntoscraeno.doc](http://www.medmayor.cl/odontologia/segundo/anatomiaclinica/puntoscraeno.doc)

24 Estomion: punto central de la línea interlabial estando la boca cerrada.  
<http://www.medicina.uanl.mx/plataforma/mod/glossary/view.php>

61	Circunferencia de la cabeza	567.7	15.4	587.3	594.8	1.3
62	Largo de la cabeza	197.1	7.1	206	206.0	0.0
77	Longitud menton - punto metópico <sup>25</sup>	121.9	6.5	130.4	125.0	-4.1
80	Circunferencia del cuello	379.6	19.7	405.3	395.4	-2.5

**Tabla A.2 - Guías específicas para el diseño del fantasma MAE y archivo CAD.**

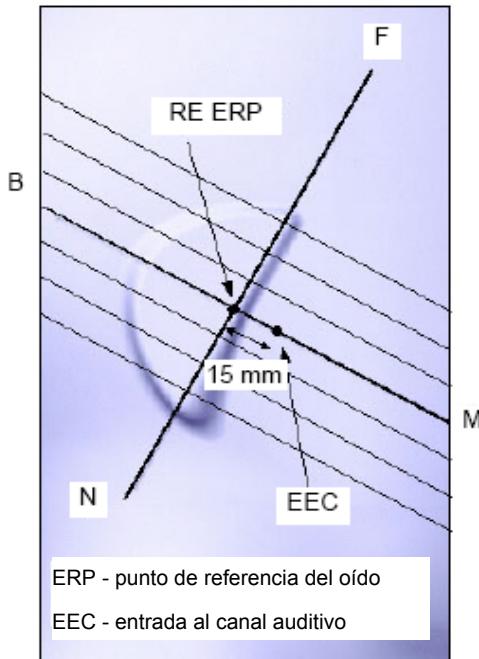
Ref.	Guías para el fantasma MAE
SG1.	El plano de referencia está definido por el punto tragion derecho e izquierdo así como por el estomion (boca)
SG2.	El punto de referencia de la oreja (ERP) es el punto de referencia a una distancia de 15 mm del tragion
SG3.	El grosor de la carcasa del fantasma en la posición de ERP es de 6 mm
SG4.	La línea N-F de la superficie externa es recta de 60 mm y pertenece a un plano perpendicular al plano de referencia.
SG5.	La línea N-F en la superficie externa está inclinada en el plano perpendicular al plano de referencia, de tal manera que el punto de contacto en la posición de mejilla entre un equipo plano y la superficie externa, está en la línea de referencia
SG6.	La línea B-M en la superficie externa es recta desde ERP hasta la parte superior de la oreja, y el grosor de la carcasa a lo largo de la porción de esta línea es menor que 6 mm.
SG7.	La superficie externa de la oreja es plana y definida por la línea N-F y la línea B-M: el grosor global de la la carcasa es de 2 mm excepto en la región de la oreja <sup>26</sup>
SG8.	En la región de la mejilla, no debe haber forma de S en el corte de los planos paralelos al plano de referencia desde H-30 mm hasta H+30 mm
SG9.	El grosor de la carcasa es medida como la distancia ortogonal a la superficie interna

25 Punto metópico: es aquel punto frontal que se encuentra entre los dos ojos.

[Greek metppikos, from metpon, forehead : meta, between; see meta- + ps, p-, eye; see okw- in Indo-European roots.] <http://www.thefreedictionary.com/metopic>

Comentario: En inglés colocan "sellion", la misma palabra para la cual no se pudo conseguir la traducción o definición, sin embargo en francés usan "point métopique" o punto metópico según su traducción al español. Podría colocarse en H36 y H37 punto metópico de igual manera para no tener inconvenientes en las definiciones.

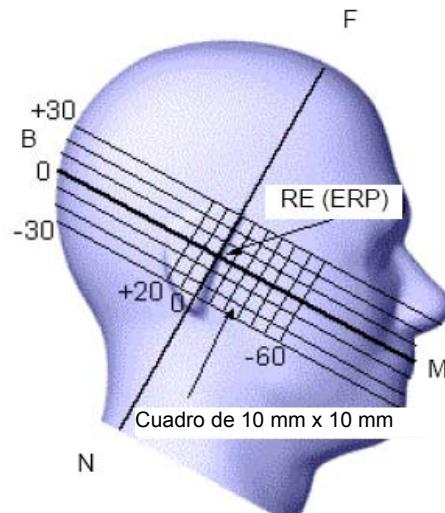
26 DUDA: En la norma 62209-1 parte en francés nombran la línea como "B-MM", mientras que en inglés la colocan como " B-MMB' ", al parecer hay un error en alguna de las dos. Además, no se muestra referencia gráfica de dichas líneas (B-MM y NN-F), solamente se observan los puntos N, F y B singularmente.



Leyenda

- B Punto de extremidad de la región posterior, en la dirección de la línea B-M
- F Punto de extremidad de la frente, en la dirección de la línea N-F
- N Punto de extremidad de la nuca, en la dirección de la línea N-F
- M Punto de referencia de la boca
- RE Punto de referencia de la oreja derecha (ERP)

**Figura A.2 - Acercamiento de la vista del fantasma mostrando la región de la oreja**



Leyenda

- B Punto de extremidad de la región posterior de la línea B-M (para información solamente - marca en el fantasma no es requerida)
- F Punto de extremidad frontal de la línea B-M (para información solamente - marca en el

	fantasma no es requerida)
N	Punto de extremidad de la nuca de la línea N-F (para información solamente - marca en el fantasma no es requerida)
M	Punto de extremidad frontal de la línea B-M (para información solamente - marca en el fantasma no es requerida)
RE	Punto de referencia de la oreja derecha (ERP)

### **Figura A.3 - Vista lateral del fantasma mostrando las marcas relevantes**

NOTA: El modelo completo de la cabeza está hecho únicamente para propósitos de ilustración - los procedimientos de esta norma son deducidos esencialmente del montaje del fantasma de la Figura 2.

El plano que pasa por los dos puntos de referencia de las orejas y M está definido como el plano de referencia. La línea N-F (nuca-frente), también llamada línea pivote de referencia, está a lo largo del borde truncado de la oreja. Ambas líneas N-F y B-M deben ser marcadas en la carcasa externa del fantasma para facilitar el posicionamiento del equipo. Posterior a la línea N-F, el grosor de la carcasa del fantasma con la forma de una oreja, es una superficie plana con 6 mm de grosor al nivel del ERP. La parte de la oreja situada anterior a la línea N-F está truncada, como se muestra en la Figura A.2, con la finalidad de que el lóbulo de la oreja no obstruya la inclinación del equipo.

La proyección de la línea de referencia B-M y la línea de referencia N-F debe ser dibujada en el fantasma. Líneas adicionales pueden ser escogidas para comodidad, pero son opcionales. Las marcas opcionales en la Figura A.3 pueden ser grabadas en la superficie externa del fantasma sin afectar las especificaciones.

### **A.3 Líquidos equivalente de tejido**

Para deducir los parámetros apropiados de los líquidos homogéneos, un modelo analítico simple constituido de capas de tejido es extendido al infinito y expuesto a una onda plana, fue utilizado para investigar el impacto del acoplamiento de impedancia, ondas estacionarias, etc., en el pico espacial promediado de TAE [7]. Las capas de tejido fueron variadas en composición y grosor para representar las variaciones de la región expuesta de la cabeza, cubriendo el grupo de usuarios, incluyendo adultos y niños (entre el 10<sup>mo</sup> y 90<sup>mo</sup> por ciento). Una composición en capas de tejido representa el caso más desfavorable respecto a la absorción de cada frecuencia, parámetros dieléctricos del líquido equivalente de tejido de la cabeza para modelos homogéneos, condujeron a un modelo homogéneo resultando en el mismo pico de absorción espacial (o ligeramente superior). Se usaron los datos de las propiedades dieléctricas del análisis Cole-Cole, el cual puede ser obtenido de [14]. La validez de esta aproximación para las exposiciones del campo cercano fue demostrado reemplazando la onda plana por un dipolo de media onda y una fuente monopolo de cuarto de onda en las proximidades a las estructuras en capas, así como por una comparación entre los resultados de imágenes de resonancia magnética (MRI) basado en modelos de cabezas humanas no homogéneas de adultos y niños tomados de la literatura.

La Tabla 1 de 5.2.4 muestra las constantes dieléctricas y conductividad de los líquidos equivalentes de tejido resultantes también publicados en [7]. Para las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido de la cabeza a otras frecuencias dentro del rango de frecuencias, se deben usar interpolaciones lineales. Las ecuaciones sugeridas para los líquidos se muestran en el Anexo G.

## Anexo B (normativo)

Todo el Anexo B proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo B

### Calibración de los instrumentos de medición (linealidad, isotropía, sensibilidad) y estimación de la incertidumbre

#### B.1 Introducción

Los instrumentos de medición están compuestos por la sonda, amplificadores y el equipo de medición. Las sondas actualmente disponibles están basadas en diodos detectores Schottky. La señal medida, la salida de la sonda, es un voltaje proporcional a  $E$  o  $E^2$  dependiendo del nivel de exposición RF.

La mayoría de las sondas isotrópicas consisten en tres sensores dipolos pequeños con patrones de directividad ortogonal en el espacio del sensor. El total del campo eléctrico puede ser evaluado como la raíz cuadrada de las sumas de las tres componentes del campo-E. En la región cuadrática de la característica del diodo, la tensión de salida del sensor es proporcional a la media cuadrática de la componente del campo correspondiente. Más allá del rango de la tensión de salida es comprimido y necesita una linealización del rango dinámico. Las tolerancias de fábrica entre los sensores y diodos producirán diferentes sensibilidades para cada sensor.

#### B.2 Evaluación de la sensibilidad de los sensores dipolos

Los factores de sensibilidad pueden ser determinados aplicando tanto el procedimiento de calibración de "una etapa" como el de "dos etapas".

##### B.2.1 Procedimiento de calibración de dos etapas

El campo total debe ser evaluado de acuerdo a:

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\eta_i \gamma_i}$$

donde

- $f_i(V_i)$  es la función de linealización de la señal rectificada por el sensor  $V_i$ ;
- $\eta_i$  representa la sensibilidad absoluta de los sensores dipolos en el espacio libre [ $\mu\text{V}/(\text{V}/\text{m})^2$ ];
- $\gamma_i$  Representa la relación entre la sensibilidad de los sensores de las sondas en un medio y sus sensibilidades en espacio libre.

La separación de la sensibilidad de la sonda en dos factores ( $\eta_i$  y  $\gamma_i$ ) permite la utilización parcial de los procedimientos normalizados de calibración en el aire y provee validación adicional del desempeño de la sonda y configuración de la calibración. La calibración es solamente válida si se está lo suficientemente alejado de cualquier borde de algún medio. A distancias muy cercanas, la sensibilidad puede cambiar. Este efecto es referido a un efecto de frontera, el cual al igual que la isotropía requiere una evaluación por separado.

### B.2.1.1 Sensibilidad en el aire (1<sup>ra</sup> etapa)

Los montajes más precisos usados por la generación de campos normalizados bien definidos y que simulan las condiciones de espacio libre, destinados a la calibración de las sondas, son las guías de ondas. Las razones son las siguientes:

- a) los montajes de guías de ondas exigen una potencia moderada y menos espacio que los montajes de calibración en campo lejano,
- b) generación de campos más exactos trazables que hacen posible repetir las lecturas de potencia,
- c) la incertidumbre producida por la perturbación del campo debido a la inserción de la sonda, es despreciable para sondas pequeñas en campo cercano, cuando las dimensiones de la guía de onda son considerablemente superiores a las dimensiones de la sonda.
- d) los montajes permiten fácil acceso para orientar el eje de la sonda perpendicular o paralelamente a la polarización del campo, al interior del montaje,
- e) además, la validación cruzada de las intensidades del campo es en general posible usando un conjunto de guías de onda con solapamiento de rangos de frecuencia.

Para bajas frecuencias (por debajo de 800 MHz)<sup>27</sup>, las células TEM pueden ser utilizadas en lugar de las guías de ondas. Sin embargo, el campo dentro de una célula TEM está pobemente definida, es decir, hay una desviación bastante grande de la distribución homogénea del campo respecto a la célula previa [42]. Por ejemplo, en algunos casos comerciales los campos de las células TEM varían  $\pm 6\%$  cuando se mueve a lo largo del eje central desde el tabique hasta la pared externa. Sin embargo, las comparaciones entre la respuesta de la sonda en una célula TEM y dentro de una guía de ondas, permite la transferencia de calibración de una medición local específica dentro de una célula TEM.

La sonda es generalmente insertada a través de pequeños hoyos en las paredes de cada montaje y posicionada en el centro donde el campo es mayormente homogéneo respecto a las dimensiones de la sonda. Cada sensor es evaluado respecto al componente del campo paralelo al sensor.

Tanto como la línea resistiva no cargue el diodo sensor del dipolo y la sonda sea pequeña comparada con la longitud de onda, entonces la sensibilidad será independiente de la frecuencia. Esto da una validación adicional del montaje de calibración, y verifica las eventuales perturbaciones del campo para la sonda. Los efectos de la inserción de la sonda son típicamente despreciables si los acopladores de la guía de ondas son de buena calidad y son usadas fuentes acopladas. Además, la incertidumbre puede ser compensada realizando mediciones complementarias con una carga desplazada  $\lambda/4$  y promediando dos lecturas.

### B.2.1.2 Sensibilidad en el medio (2<sup>da</sup> etapa)

La sensibilidad en el líquido es determinada generando valores localmente de campo conocidos en el interior del medio. Los dos métodos siguientes pueden ser usados:

- Transferencia de calibración con la sonda de temperatura;

<sup>27</sup> En el estándar IEEE 1528: 2003, A.3.1, pág. 68, usan un valor de 800 MHz y en la norma IEC 62209-1: 2005 B.2.1.1 usan por debajo de “aproximadamente” 750 MHz. Por lo tanto colocando el valor de referencia de la IEEE 1528: 2003 estamos cumpliendo con ambas normas.

- Calibración con campos analíticos.

### B.2.1.2.1 Transferencia de calibración con sondas de temperatura

En los líquidos con pérdidas la TAE está relacionada con el campo eléctrico ( $E$ ) y con el gradiente de temperatura ( $dT/dt$ ) en el líquido. Por consiguiente, la TAE está basada en la relación:

$$TAE = \sigma \frac{E^2}{\rho} = c_h \frac{dT}{dt} \Big|_{t=0}$$

El campo eléctrico en el líquido con pérdidas puede ser medido indirectamente midiendo el gradiente de temperatura en el líquido. Las sondas no perturbadoras (sondas ópticas o sondas termistoras con líneas resitivas) con alta resolución espacial (< 1 mm a 2 mm) y tiempo rápido de respuesta (< 1 s) están disponibles y pueden ser fácilmente calibrados con alta precisión [31]. El montaje y la fuente de excitación no tiene influencia en la calibración; solamente las incertidumbres de posicionamiento relativo de la sonda de temperatura normalizada y la sonda de campo-E a ser calibrada deben ser consideradas. Sin embargo, muchos problemas limitan la precisión efectiva de las calibraciones de las sondas de temperatura.

- El gradiente de temperatura no es medible directamente pero debe ser evaluada a partir de las mediciones de temperatura a diferentes pasos de tiempo. Las precauciones particulares son necesarias para evitar los errores de medición provocados por los gradientes de temperatura debido a los efectos de repartición de energía o corrientes de convección en el líquido. Dichos efectos no pueden ser evitados completamente, porque el campo medido en sí mismo perturba el equilibrio térmico del líquido. Con un montaje cuidadoso estas incertidumbres pueden mantenerse bajas.
- El volumen medido alrededor de la sonda de temperatura no está bien definido. Es difícil calcular la transferencia de energía en la sonda a partir del campo del gradiente de temperatura del entorno. Esos efectos deben ser considerados, puesto que las sondas de temperatura son calibradas en el líquido con temperaturas homogéneas.
- La calibración depende de la evaluación de la densidad específica, de la capacidad calorífica y de la conductividad del medio. Mientras la densidad específica y la capacidad calórica puedan ser medidos con exactitud mediante procedimientos estandarizados ( $\sim \pm 2\%$  para  $c_h$ ; mucho mejor para  $\rho$ ), no existe estándar para la medición de la conductividad térmica. Dependiendo del método y líquido, la incertidumbre puede bien exceder  $\pm 5\%$ .
- Las mediciones de la elevación de la temperatura no son muy sensibles y además son normalmente realizadas a niveles de potencia más altos que las mediciones de campos-E. Las no linealidades en el sistema (por ejemplo, mediciones de potencia, diferentes componentes del campo, etc.) deben ser considerados.

Considerando esos problemas, la precisión de calibración posible en las sondas de campo-E con mediciones del gradiente de temperatura, en una instalación cuidadosamente diseñada es alrededor del

$\pm 10\%$  (incertidumbre estándar combinada) [36]. Un montaje que es una combinación de técnicas de guías de onda y mediciones térmicas fueron presentadas en [26]. La incertidumbre estándar combinada estimada de esta configuración es de  $\pm 5\%$  cuando el mismo líquido es usado para la calibración y para mediciones reales, y  $\pm 7\%$  a  $\pm 9\%$  cuando no, el cual debe estar en buen acuerdo con las evaluaciones indicadas en [36]. Cuando se esté realizando un análisis de incertidumbre de la **transferencia de calibración** usando una sonda de temperatura, deben ser considerados al menos los parámetros incluidos en la Tabla B.1.

**Tabla B.1 - Análisis de incertidumbre de la transferencia de calibración utilizando sondas de temperatura** (IEC 62209-1: 2005 Tabla B.1, pág 119)

Fuente de Incertidumbre	Valor de Incertidumbre $\pm \%$	Distribución de probabilidad	Divisor	$C_i$	Incertidumbre normalizada	$v_i$ o $v_{eff}$
Posicionamiento de la sonda de campo-E	N	1	1			$\infty$
Posicionamiento de la sonda de temperatura	N	$1^{28}$	1			$\infty$
Linealidad de la sonda de campo-E	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Deriva y ruido de la sonda de temperatura	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Linealidad de la sonda de temperatura	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Conductividad del líquido	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Calor específico del líquido	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Densidad del líquido	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Precisión de la sonda de temperatura	R	$\sqrt{3}$	1			$\infty$
Incertidumbre estándar combinada	RCSC					

NOTA 1  $C_i$  es el coeficiente de sensibilidad

NOTA 2  $v_i$ ,  $v_{eff}$  son los grados de libertad en la incertidumbre normalizada  $u(x_i)$  para la estimación de entrada ( $x_i$ ) y los grados efectivos de libertad en la incertidumbre estándar combinada  $u_c(x_i)$ . usada para obtener  $t_p(v_{eff})$ , respectivamente.

### B.2.1.2.2 Calibración con los campos analíticos (guías de ondas)

En este método se usa un montaje en el cual el campo puede ser calculado analíticamente a partir de las mediciones de otras magnitudes (por ejemplo, potencia de entrada). Esto corresponde al método de campo normalizado para la calibración de la sonda en el aire; sin embargo, no hay estándar definido para campos en líquidos con pérdidas.

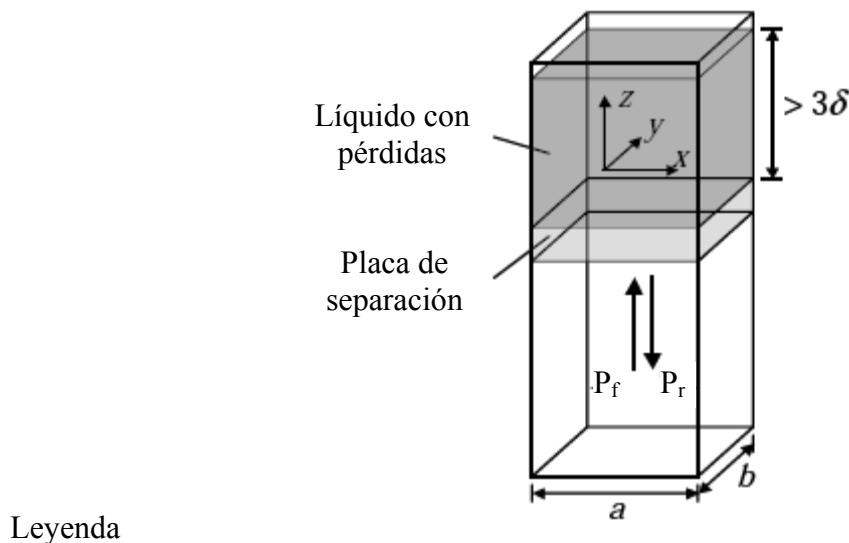
Cuando se usa los campos calculados para líquidos con pérdidas para la calibración de la sonda, algunos puntos deben ser considerados en la estimación de la incertidumbre:

- El montaje debe permitir la determinación precisa de la potencia incidente;

<sup>28</sup> Comentario: Estos cuatro elementos que están resaltados en amarillo, son diferentes para el estándar IEEE 1528: 2003, Tabla E.1, pág. 103. No se pudo discernir entre cuál es el más adecuado, debido a que las especificaciones para el cálculo de las incertidumbres es algo matemáticamente complejo y no se dispone de la fuente del cual fue tomado en cuenta estos valores para cada norma. Lo recomendado es adoptar el valor de la norma más actual (IEC 62209-1: 2005).

- La precisión de la intensidad del campo calculado dependerá de la estimación de los parámetros dieléctricos del líquido;
- Debido a la pequeña longitud de onda con alta permitividad, aun pequeños montajes con pequeñas dimensiones físicas pueden estar en las frecuencias de corte del modo resonante. La distribución del campo en el montaje debe ser cuidadosamente verificada con distribuciones de campo teóricos.

Las guías de onda rectangulares son sistemas autónomos en los cuales la distribución de los campos en el plano transversal no depende de las reflexiones. Estas pueden ser usadas para producir un campo analíticamente conocido en el interior de los líquidos equivalentes de tejido, por ejemplo el montaje presentado en [50]. En ese montaje (ver Figura B.1), la parte superior de una guía de onda abierta y vertical es llenada con líquido. Una placa de separación dieléctrica a una distancia  $> 3\delta$  desde el acoplador de alimentación provee una adaptación de impedancia ( $> 10$  dB de pérdida de retorno) entre el aire y el líquido. La simetría de la construcción y las altas pérdidas en el líquido para asegurar que la distribución del campo en el interior del líquido equivalente de tejido sigue el modo  $TE_{10}$ , adicionalmente pueden existir modos de orden superior. En [49] la ausencia de modos superiores fue cuidadosamente validado por un barrido completo del volumen en el líquido, el cual mostró una desviación del modo teórico  $TE_{10}$  solamente inferior de  $\pm 1\%$  a  $\pm 2\%$ .



$x, y, z$  Ejes en el sistema cartesiano de coordenadas

$3\delta$  Profundidad del líquido ( $> 3$  veces la profundidad de la piel)

$a$  Largo de la sección de la guía de ondas

$b$  Ancho de la sección de la guía de ondas

$P_f$  Potencia incidente

$P_r$  Potencia reflejada

**Figura B.1 - Montaje experimental para la evaluación de la sensibilidad (factor de conversión) usando una guía de ondas rectangular orientada verticalmente.**

En el interior del líquido, el campo se propaga casi como una onda TEM, debido a la baja frecuencia de corte. La profundidad del líquido ( $> 3$  veces la profundidad de la piel) fue escogida de tal manera que las reflexiones en la parte superior de la superficie del líquido fueran despreciables. La potencia absorbida en el líquido es evaluada midiendo la potencia incidente y reflejada dentro de una guía de onda.

$$TAE(z) = \frac{4(P_f - P_r)}{\rho ab\delta} e^{-2z/\delta}$$

donde

- $ab$  es el área de la sección transversal de la guía de ondas;
- $P_f$  es la potencia incidente dentro de la guía de ondas;
- $P_r$  es la potencia reflejada en el interior de la guía de ondas;
- $z$  es la coordenada longitudinal del centro del dipolo en la posición de la sonda;
- $\rho$  es la densidad del líquido;
- $\delta$  es la profundidad de la piel dentro del líquido con pérdidas.

[ La profundidad de penetración  $\delta$ , la cual es reciproca al coeficiente de atenuación del modo de guía de onda  $\alpha$ , es determinado con un barrido a lo largo del eje  $z$  y comparado con el valor teórico determinado en la ecuación siguiente, usando las propiedades dieléctricas medidas del líquido con pérdidas. ] IEEE 1528: 2003 A.3.2.2, 71

$$\delta = \alpha^{-1} = \left\{ \Re \left[ \sqrt{(\pi/a)^2 + j\omega\omega_0(\sigma + j\omega\omega_F\epsilon_0)} \right] \right\}^{-1} \quad \text{IEEE 1528: 2003 A.3.2.2, 71}$$

Esta técnica provee una precisión excelente, con una incertidumbre combinada de  $< \pm 3.6\%$  dependiendo del medio y la frecuencia. La calibración por sí misma es reducida de una medición de potencia trazable a un procedimiento de calibración estándar. La limitación práctica dada por el tamaño de la guía de onda en el rango de frecuencia entre 800 MHz y 3000 MHz,<sup>29</sup> no es riguroso en el contexto de pruebas de conformidad, porque la mayoría de las frecuencias operacionales para sistemas de comunicaciones móviles son cubiertos en este rango. Para frecuencias por debajo de 800 MHz, la transferencia de calibración con sondas de temperatura permanece como la manera más práctica de realizar la calibración con incertidumbres muy bajas. Cuando se realiza un análisis de incertidumbre de calibración con campos analíticos, se deben considerar al menos los parámetros incluidos en la Tabla B.2.

<sup>29</sup> En el estándar IEEE 1528: 2003 usan una banda de frecuencia desde 800 MHz - 3000 MHz (IEEE 1528: 2003 A.3.2.2, pág. 71) para las guías de onda. El estándar IEC 62209-1: 2005 usa una banda de frecuencias desde 800 MHz hasta 2500 MHz. Por esta razón tomado el rango del estándar IEEE 1528: 2003 incluimos ambos rangos.

**Tabla B.2 - Análisis de la incertidumbre para la técnica usando la distribución analítica de campo en el interior de la guía de onda.**

Fuente de Incertidumbre	Valor de Incertidumbre $\pm\%$	Distribución de probabilidad	Divisor	$C_i$	Incertidumbre normalizada	$v_i$ o $v_{eff}$
Potencia incidente		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Potencia reflejada		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Conductividad del líquido		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Permitividad del líquido		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Homogeneidad del campo		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Posicionamiento de la sonda de campo		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Linealidad de la sonda de campo		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Incertidumbre estándar combinada		RCSC				

**Tabla B.2.1 - Guía para el diseño de guías de onda para calibración.**

(IEEE 1528: 2003, Tabla A.1, pág. 72)

	Simulador del tejido de la cabeza		Dimensión de la guía de onda	Profundidad de penetración	Separador dieléctrico	
Frecuencia (MHz)	$\epsilon'_r$	$\sigma$	$a$ (mm)	$\delta$	$\epsilon'_r$	Grosor (mm)
300	45	0.87	584.2	45.78	5.5	106.0
450	44	0.87	457.2	42.94	6.0	66.1
835-900	42	0.97	247.6	36.16	5.6	34.8
1450	41	1.20	129.5	28.55	4.7	24.8
1800-2000	40	1.40	109.2	24.15	4.8	19.4
2450	39	1.80	109.2	18.59	5.7	12.6
3000	39	2.40	86.4	13.97	5.7	10.3

#### NOTAS

1- La permitividad y el grosor del separador dieléctrico puede variar de los valores mostrados para adaptarse a los materiales comerciales disponibles. Cambios en el orden del  $\pm 10\%$  no debe producir degradación substancial en su desempeño.

2- Por convención, la longitud de la sección transversal más corta es la mitad de la sección larga, es decir,  $b = a/2$ .

3- Las dimensiones de la guía de onda están de conformidad con EIA RS-261-B: 1979. [10]

## B.2.2 Procedimiento de una etapa

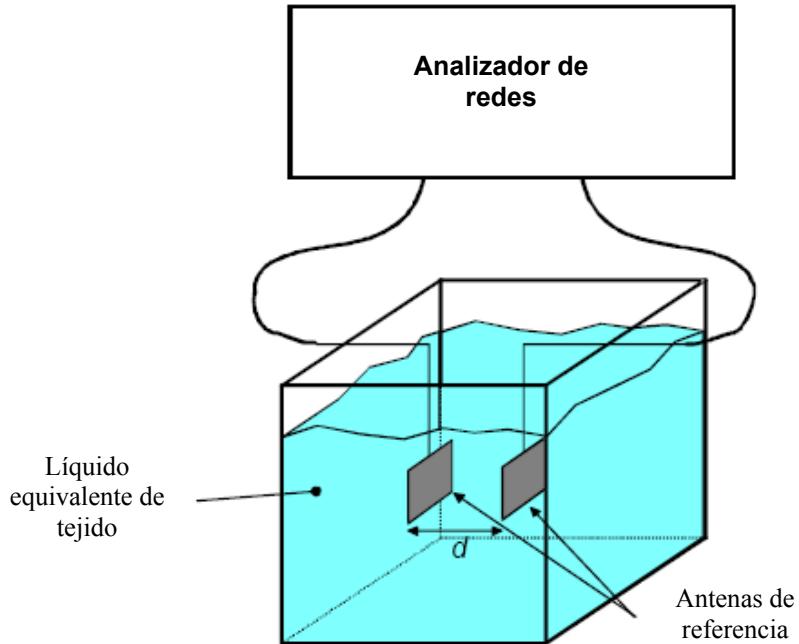
El procedimiento de B.2.1 puede ser combinado en un procedimiento de una etapa usando antenas de referencia como se especifica a continuación.

El campo total debe ser evaluado de acuerdo a:

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{V_i}{K_i}$$

donde  $K_i$  es la sensibilidad absoluta de los sensores del dipolo en el líquido.

Las antenas de referencia son pequeñas antenas conocidas para funcionar con el líquido equivalente de tejido apropiado. Los ejemplos de antenas desarrolladas para 900 MHz y 1800 MHz han sido descritos en [46], [47]. Al menos 2 antenas idénticas son necesarias para evaluar la ganancia del lóbulo principal de las antenas de referencia.



**Figura B.2 - Descripción del montaje de evaluación de la ganancia de la antena**

- a) La evaluación de ganancia de la antena es realizada de acuerdo al protocolo siguiente:
- 1) posicionar las antenas en el líquido de tal manera que el eje del lóbulo principal esté alineado y a una distancia bien definida  $d$ , donde  $d \geq 2D^2 / \lambda_{\text{líquido}}$ ,  $D$  es la dimensión más larga de la antena de referencia, y  $\lambda_{\text{líquido}}$  es la longitud de onda en el líquido. Las antenas deben estar al menos a 10 cm de cualquiera de las paredes del recipiente con el líquido;
  - 2) medición de los coeficientes de reflexión  $\rho_1$  y  $\rho_2$  en los puertos de entrada de cada antena;
  - 3) medición de los coeficientes de transmisión  $S_{21}$  entre dos antenas en los mismos puertos;
  - 4) la ganancia es

$$G = |S_{21}(d)| \times e^{ad} \left( \frac{4\pi d}{\lambda_{líquido}} \right) \times \frac{1}{\sqrt{(1-|\rho_1|^2)(1-|\rho_2|^2)}}$$

donde el coeficiente de atenuación es

$$\alpha = \frac{2\pi f}{c} \times \left( \varepsilon_r'^2 + \varepsilon_r''^2 \right)^{1/4} \times \sin \left[ \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \right) \right]$$

Cuando se realiza un análisis de incertidumbre de la ganancia de una antena de referencia, al menos los parámetros incluidos en la Tabla B.3 deben ser considerados.

**Tabla B.3 - Análisis de la incertidumbre para la evaluación de la ganancia de las antenas de referencia**

Fuente de Incertidumbre	Valor de Incertidumbre $\pm \%$	Distribución de probabilidad	Divisor	$C_i$	Incertidumbre normalizada	$v_i$ o $v_{eff}$
Potencia incidente		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Coeficiente de reflexión		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Distancia		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Conductividad del líquido		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Permitividad del líquido		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Incertidumbre estándar combinada		RSS				

b) El protocolo siguiente debe ser usado para evaluar los coeficientes de sensibilidad de la sonda:

1) colocar una antena en el líquido equivalente de tejido. La antena debe estar a una distancia mínima de 10 cm de las paredes del recipiente del líquido.

2) conectar una fuente de potencia en el puerto de entrada de la antena de referencia. El campo eléctrico teórico  $E_{th}$  a una distancia  $d$  desde la antena es:

$$E_{th} = \left[ \left( \frac{P_{in} (1-|\rho|^2) G e^{-2ad}}{4\pi d^2} \right) \times \frac{120\pi}{\Re \sqrt{\varepsilon_r}} \right]^{1/2}$$

donde

$d$  es la distancia de la antena donde  $d \geq (2D^2 / \lambda_{líquido})$

$G$  es la ganancia de la antena

$D$  es la dimensión más larga de la antena de referencia

$P_{in}$  es la potencia de entrada

$\rho$  es el coeficiente de reflexión de la antena  
 $\lambda_{\text{líquido}}$  en la longitud de onda en el líquido

Es recomendado conectar un acoplador bidireccional al control de potencia de entrada. Ajustar la potencia de entrada de tal manera que  $E_{th} \sim 30 \text{ V/m}$ ;

- 3) posicionar la sonda en el líquido de tal manera que el centro del detector esté a una distancia  $d$  de la antena;
- 4) orientar la sonda en el líquido con la finalidad de alinear la dirección del dipolo con la polarización de la antena de referencia;
- 5) medir el voltaje de la señal a la salida de la sonda relativa al dipolo expuesto  $V_{1,\text{medido}}$ ;
- 6) Calcular el coeficiente de sensibilidad  $K_1$  para este dipolo, dado por  $K_1 = \frac{V_{1,\text{medido}}}{E_{th}^2}$ ;
- 7) repetir las etapas 4) a 6) para los otros dos dipolos para evaluar  $K_2$  y  $K_3$ .

Usando los coeficientes de sensibilidad de la sonda, la TAE es determinada por la ecuación:

$$TAE = \frac{\sigma}{\rho} \left( \frac{V_1}{K_1} + \frac{V_2}{K_2} + \frac{V_3}{K_3} \right)$$

donde  $\rho$  es la densidad ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

Cuando se realiza un análisis de incertidumbre de la calibración con antenas de referencia, al menos los parámetros incluidos en la Tabla B.4 deben ser considerados.

**Tabla B.4 - Análisis de la incertidumbre para la calibración usando una antena de referencia**

Fuente de Incertidumbre	Valor de Incertidumbre $\pm \%$	Distribución de probabilidad	Divisor	$C_i$	Incertidumbre normalizada	$v_i$ o $v_{eff}$
Potencia incidente		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Coeficiente de reflexión		R	1 o k	1		$\infty$
Ganancia de la antena		N	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Conductividad del líquido		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Permitividad del líquido		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Posicionamiento de la sonda		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Incertidumbre estándar combinada		RSS				

### B.3 Isotropía

### **B.3.1 Isotropía Axial**

La sonda debe ser expuesta a una onda de referencia con una incidencia normal respecto al eje de la sonda. La isotropía axial es determinada rotando la sonda alrededor de su eje mayor desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  y con incrementos inferiores o iguales a  $15^\circ$ .

### **B.3.2 Isotropía esférica y hemisférica**

La sonda debe estar expuesta a una onda de referencia con ángulos de incidencia variables. La isotropía hemisférica debe ser determinada rotando tanto la sonda como la polarización de la onda de referencia. Los ángulos de incidencia deben variar desde  $90^\circ$  (axial) a  $0^\circ$  (normal) con incrementos inferiores o igual a  $30^\circ$ . Para cada ángulo de incidencia, la sonda debe ser rotada a través de un rango de  $360^\circ$  y con incrementos menores o iguales a  $15^\circ$ .

Los tres métodos siguientes pueden ser usados para isotropía hemisférica, cada uno produciendo resultados similares:

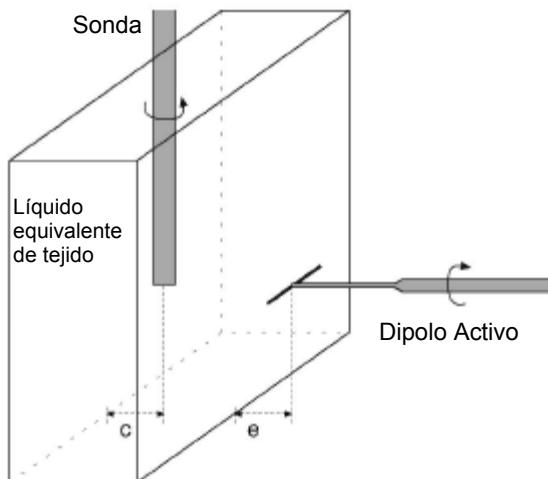
- fantasma plano con dipolo en un lado
- fantasma plano con dipolo debajo
- fantasma esférico con dipolo

### **B.3.3 Isotropía con un fantasma plano y dipolo a un lado**

El montaje consiste de una caja plástica delgada llena con líquido equivalente de tejido el cual es expuesto a un dipolo resonante de media onda y funcionando a la frecuencia de prueba. El protocolo siguiente debe ser utilizado para evaluar la isotropía esférica de la sonda:

- montar la antena dipolo en un dispositivo giratorio y posicionarlo paralelamente al fantasma plano (ver Figura B.3). La antena debe estar posicionada a una máxima distancia de  $e = \lambda/10$  de las paredes adyacentes del recipiente del líquido;
- insertar la sonda verticalmente en el líquido de tal manera que el centro de los tres sensores de la sonda esté posicionada en la extensión del eje del dipolo;
- siempre que sea posible, el posicionamiento horizontal de la sonda debe estar en el máximo de la onda estacionaria cerca de la parte trasera de la caja, a una distancia  $d$  de la interfaz del fantasma/líquido, donde el campo- $E$  es parcialmente homogéneo y el campo- $H$  está al mínimo. La medición también puede ser realizada en un campo gradiente. (El máximo del campo- $E$  puede ser determinado realizando un barrido lineal en la dirección x);
- el dipolo debe rotar alrededor de su eje al menos desde  $0^\circ$  hasta  $90^\circ$  con pasos incrementales menores o iguales a  $30^\circ$ .
- a cada incremento, la sonda es rotada, en pasos menores o iguales a  $15^\circ$ , alrededor de su eje desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  por el posicionador de la sonda y es registrada la data medida;

- f) la desviación de la isotropía esférica es expresada como la máxima desviación de TAE de los valores promedios respecto a todas las posiciones de la sonda medidas ( $\pm$  xx dB).



Leyenda

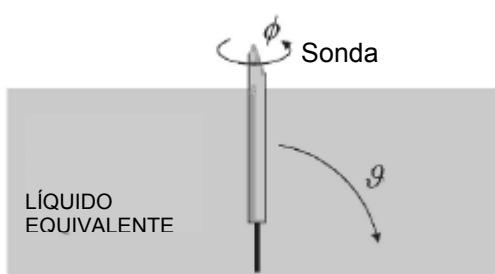
- $c$  Distancia entre la sonda y la pared trasera  
 $e$  Distancia máxima entre la pared adyacente del contenedor de líquido y el dipolo

NOTA: La evaluación es efectuada de preferencia a la posición  $c$  con menores campos gradientes resultantes de la onda estacionaria. La dimensión  $e$  es la distancia entre el punto emisor al eje del dipolo y la superficie del líquido.

**Figura B.3 - Montaje usado para determinar la desviación de la isotropía esférica en el líquido equivalente de tejido**

#### B.3.4 Isotropía con un fantasma plano y dipolo debajo

Un montaje alternativo para la evaluación de la isotropía es mostrada en la Figura B.4. Un dipolo de media onda montado en un dispositivo de soporte es posicionado con sus brazos debajo y paralelos al fantasma plano lleno con líquido equivalente de tejido. Una sonda es posicionada en un punto directamente sobre el punto de alimentación del dipolo. Todas las rotaciones de la sonda son realizadas y controladas por un posicionador de alta precisión. La rotación de la sonda alrededor de su eje ( $\phi$  rotación desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$ ), junto con la rotación del dipolo ( $\theta$  rotación desde  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ ) y cambiando el ángulo de inclinación de la sonda ( $\vartheta$  desde  $0^\circ$  hasta  $75^\circ$ ), produce una evaluación 3D de una parte significativa del hemisferio receptor de la señal.



## Leyenda

- $\vartheta$  Ángulo de inclinación de la sonda
- $\theta$  Ángulo de rotación del eje del dipolo
- $\phi$  Ángulo de rotación de la sonda

**Figura B.4 - Montaje alternativo para evaluar la desviación de la isotropía esférica de la sonda en el líquido equivalente de tejido**

### B.3.5 Isotropía con dipolo y fantasma esférico

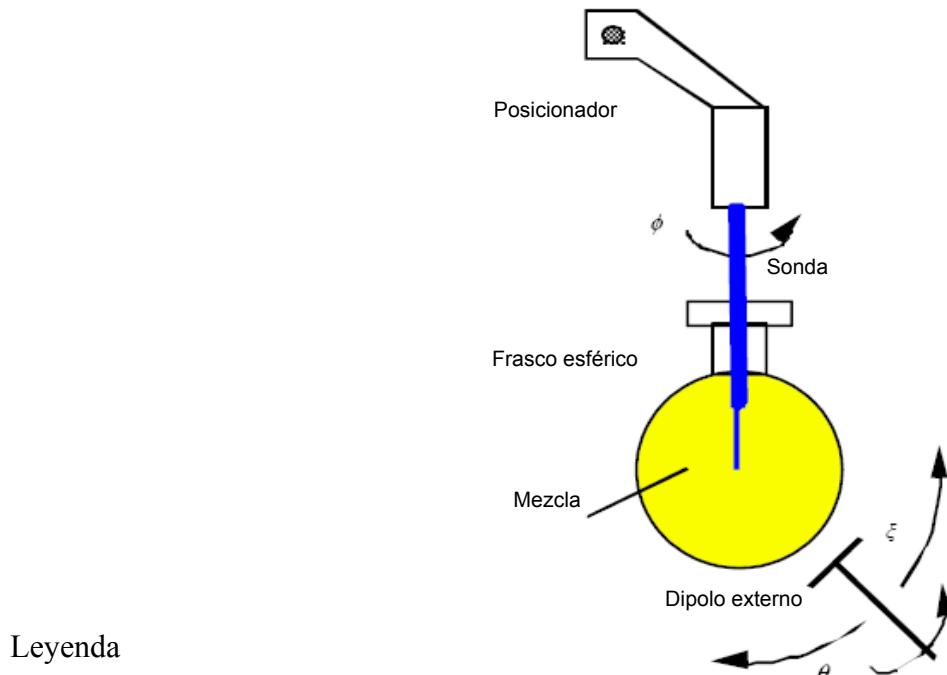
La isotropía del patrón de recepción de la sonda sobre un hemisferio completo puede ser determinada usando un montaje comprendido de frasco esférico lleno de líquido y un dipolo externo [12]. El patrón de recepción hemisférica de la sonda puede ser determinado posicionando los sensores de la sonda en el centro geométrico del frasco esférico y rotando completamente la sonda alrededor de su eje bajo diferentes condiciones de excitación (ángulo de impacto de la onda incidente y la polarización) dados por una antena dipolo externa. En este montaje, no es necesario que el posicionador de la sonda incline y rote simultáneamente la sonda.

El montaje de medición, mostrado en la Figura B.5, consiste en un frasco esférico que es llenado con una mezcla equivalente de tejido. La sonda es posicionada verticalmente con sus sensores en el centro volumétrico de la esfera. La excitación es dada por un dipolo de media onda externo sintonizado a la frecuencia de operación deseada. El dipolo es mantenido paralelo al plano tangente en el punto más cercano de la esfera.

NOTA: Los frascos pequeños pueden ser preferidos porque el incremento de la conductividad de la mezcla o de la frecuencia de operación implica un camino de pérdida mayor para la onda transmitida a la sonda. Frascos mayores poseen superficies locales más planas (radio de curvatura más grandes), lo cual produce localmente un frente de onda más plano en la extremidad de la sonda y aumenta la tolerancia en el posicionamiento del dipolo.

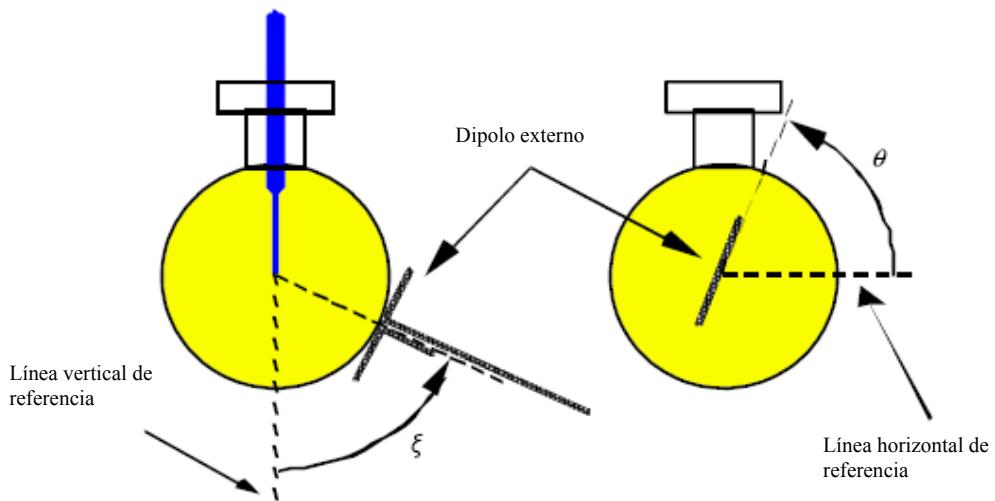
La Figura B.6 muestra las convenciones usadas para describir la posición y polarización de la antena. Una medición 3D del patrón de recepción de la sonda sobre un hemisferio es completado rotando la sonda  $360^\circ$  alrededor de su eje ( $\phi$ ), mientras el dipolo externo se posiciona a los ángulos  $0^\circ \leq \xi \leq 360^\circ$ . Cada polarización deseada de la onda de impacto es obtenida por la rotación de  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  del dipolo sobre su eje. Las posiciones múltiples de  $\theta$  no son necesarias cuando  $\xi = 0^\circ$ . Mientras que un

gran número de puntos de mediciones son posibles con este montaje, usualmente son suficientes para la caracterización pasos de  $30^\circ$  en  $\xi$  y  $15^\circ$  en  $\theta$  y  $\phi$ <sup>30</sup>.



- $\xi$  ángulo de elevación del eje del dipolo
- $\theta$  ángulo de rotación del elemento dipolo
- $\phi$  ángulo de rotación del eje de la sonda

**Figura B.5 - Montaje experimental para la evaluación de la isotropía hemisférica [12]**



30 este ángulo ( $\phi$ ) aparece en el std. IEEE 1528: 2003 en A.5.2.2 pág. 75, pero no en la norma IEC 62209-1: 2005

## Leyenda

- |          |  |
|----------|--|
| $\xi$    | ángulo de elevación del eje del dipolo |
| $\theta$ | ángulo de rotación del elemento dipolo |

### Figura B.6 - Convención para la posición ( $\xi$ ) del dipolo y la polarización ( $\theta$ ) [12]

Mediciones preliminares deben asegurar que los diodos sensores operen en la región cuadrática para la potencia emitida por el dipolo. Las mediciones consisten en las rotaciones completas de 360° de la sonda para cada posición del dipolo y para cada polarización ( $\xi, \theta$ ). La potencia radiada durante cada rotación debe ser monitoreada y registrada para cada posición de  $\phi$  de la sonda, y las muestras de TAE deben ser normalizadas a un valor nominal. Aunque no puede ser excluido a priori, no hay razón particular de por qué las otras posiciones y polarizaciones del dipolo externo diferentes a las consideradas aquí, deban producir un desempeño isotrópico significativamente peor. Sin embargo, la matriz de pruebas puede ser expandida para incluir un caso particularmente interesante, por ejemplo, condiciones de polarización que coincidan con la orientación del sensor en algunas sondas.

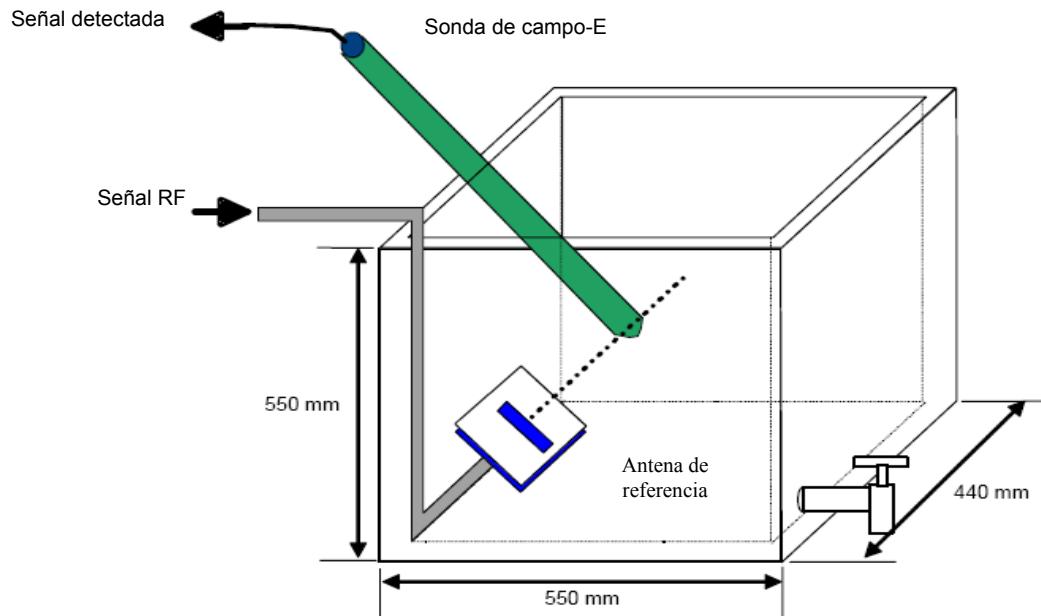
Como con una prueba de isotropía con el fantasma plano, es asumida una distribución de incertidumbre rectangular. Sin embargo, las buenas prácticas experimentales pueden reducir considerablemente la incertidumbre, como para el caso donde la calibración de la sonda es realizada bajo una polarización específica y dirección particular de la onda incidente, y que las mismas condiciones son esencialmente mantenidas durante las mediciones de TAE.

### B.3.6 Isotropía con antenas de referencia

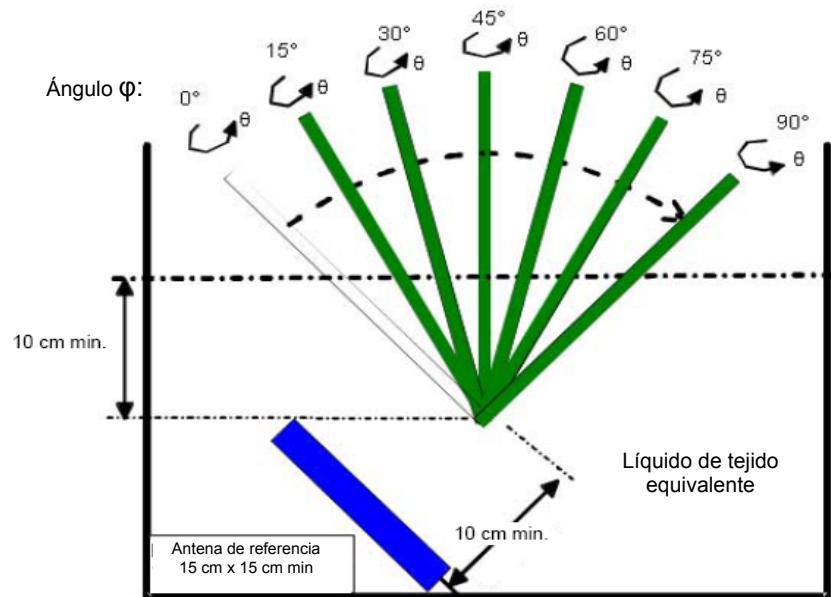
El protocolo siguiente debe ser adoptado para evaluar la isotropía de la sonda usando el montaje de la antena de referencia:

- a) colocar una antena en el líquido equivalente de tejido. La antena debe estar a una distancia mínima de 10 cm de las paredes del recipiente del líquido.
- b) colocar la sonda en el líquido de tal manera que el centro de los detectores estén a una distancia  $d$  de la antena, donde  $d \geq 2D^2 / \lambda_{\text{líquido}}$ ,  $D$  es la dimensión más grande de la antena de referencia, y  $\lambda_{\text{líquido}}$  es la longitud de onda en el líquido. Es recomendado que el valor de TAE esté comprendido entre 0.5 y 1 W/kg en esta posición;
- c) orientar el eje de la sonda de tal manera que su eje principal esté ortogonal a la dirección de la exposición de la antena (ver Figura B.7);
- d) rotar la sonda alrededor de su eje principal desde los 0° hasta los 360° con pasos menores o iguales a 15°. Registrar los valores de TAE. La isotropía axial está definida por la desviación de TAE del valor r.m.s.;
- e) modificar la incidencia de la señal de referencia rotando la antena de referencia o el eje de la sonda (ver Figura B.8) desde 0° hasta 90° con pasos de 15° o 30°.

- f) rotar la sonda en torno a su eje principal desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  para cada ángulo de incidencia, con pasos iguales o menores a  $15^\circ$ . Registrar los valores de TAE;
- g) calcular la isotropía hemisférica, la cual es definida por la desviación de TAE respecto al valor r.m.s. de las exposiciones no normales de la sonda.



**Figura B.7 - Medición de la isotropía axial con una antena de referencia**



## Leyenda

- $\theta$  ángulo de rotación del elemento dipolo
- $\phi$  ángulo de rotación del eje de la sonda

### Figura B.8 - Medición de la isotropía hemisférica con una antena de referencia

#### B.4 Linealidad

Ya que la no linealidad de la respuesta de la sonda depende solamente de las características del diodo, la evaluación de las funciones de linealización pueden ser hechas en el espacio libre o en el líquido equivalente de tejido. Esto es realizado por un barrido de potencia cubriendo el rango de detección prescrito. Las células pequeñas TEM, las guías de onda o las antenas de referencia pueden ser usadas, ya que altas intensidades de campo pueden ser producidos con amplificadores de mediana potencia.

El error de linealidad es definido por la desviación máxima, sobre el rango de medición, de la cantidad medida respecto a la curva de referencia lineal más cercana, definida en el intervalo de 0.01 W/kg - 100 W/kg. La evaluación puede ser realizada usando uno de los montajes descritos en B.2 o la Figura 15. La potencia debe ser incrementada en pasos no mayores que 1 dB sobre el intervalo de 0.01 W/kg a 100 W/kg.

#### B.5 Límite de detección inferior

El límite de detección inferior está relacionado al nivel de ruido, offset y asimetría de los sistemas de medición. La saturación y otros efectos de no linealidad definen el límite de detección superior. El límite inferior y superior pueden ser determinados con diversos montajes, por ejemplo el montaje en B.2, Figura D.1, etc. Estos son definidos como los niveles a partir de los cuales la respuesta se desvía de la linealidad por más de 0.5 dB (ver también cláusula B.4). En las condiciones de operación reales del sistema de medición, el límite inferior de detección puede ser alterado por el ambiente EM de fondo.

#### B.6 Efectos de frontera

En la proximidad de la superficie interior de la carcasa, la sensibilidad se desvía de la determinada en condiciones normales de calibración. Esta desviación debe ser evaluada usando una distribución de campo en el interior de un fantasma plano que aproximadamente corresponde al de la exposición de una onda plana. Para determinar este efecto, un montaje similar al descrito en la Figura D.1 puede ser usado, a través del cual el efecto de frontera es definido como la desviación entre las mediciones de TAE y el decrecimiento exponencial esperado en el líquido cuando la sonda está orientada normalmente a la interfaz. Este efecto puede ser compensado en gran parte como se describe [49], [51]. La incertidumbre del procedimiento debe ser evaluado de acuerdo a 7.2.1.5.

#### B.7 Tiempo de respuesta

La sonda debe ser expuesta a una onda de referencia. El tiempo de respuesta es el tiempo requerido por el equipo de medición para alcanzar el 90 % de su valor final después de un paso de variación o después de conmutar on/off la fuente de poder. El paso debe ser definido para proveer al menos 0.4

W/kg de TAE local.

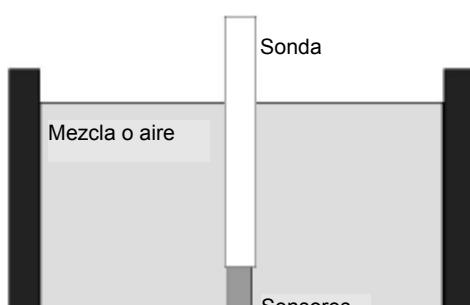
## B.8 Resolución espacial

Todo el Anexo B.8 proviene de IEEE 1528: 2003 A.6, 75

Los sensores del dipolo usado en las sondas dosimétricas de campo-E tienen longitudes finitas y son desplazados del eje de la sonda. Los efectos de este desplazamiento son debido a que cada sensor mide el campo en una localidad distinta, llevando a errores cuando se miden campos inhomogéneos que cambian de magnitud y polarización rápidamente. Dos métodos experimentales para la evaluación de la resolución espacial son descritos. El primero es un montaje para establecer la habilidad de una sonda para distinguir entre picos de TAE cercanos. El segundo método permite la investigación del efecto del desplazamiento del sensor en el error de resolución espacial.

### B.8.1 Discriminación entre picos de TAE

La distribución de TAE dentro de un cuerpo cercano a una fuente radiante está altamente correlacionada con su distribución de densidad de corriente, la cual puede depender fuertemente de la geometría específica del radiador y su proximidad al cuerpo expuesto. La habilidad de resolver agudas variaciones locales de TAE es por lo tanto una característica importante de las sondas dosimétricas de campo-E. En la parte a) de la Figura B.9 muestra el montaje básico usado para medir la habilidad de discriminar entre los picos de TAE, consistiendo en un fantasma plano lleno con líquido equivalente de tejido. Además de una sonda, un par de líneas de transmisión en abierto grabada en tableros de circuitos impresos paralelos (PCBs, Printed Circuit Boards por sus siglas en inglés) son mostradas dentro del contenedor, formando un radiador cuadripolo como se detalla en la parte b) de la Figura B.9. El pico de campo-E ocurre en la terminación en abierto, donde la carga se acumula. El espacio entre las superficies internas metalizadas están definidas como  $D$  (por ejemplo, 1 cm en la parte b) de la Figura B.9). Para un diámetro de sonda  $r_p$ ,  $D$  debe ser igual a  $r_p + 2$  mm para permitir el paso de la sonda. Dos trazas paralelas de circuitos de igual ancho son impresas en cada PCB con 0.75 mm de grosor. Las trazas son de 1 mm de ancho y 10 cm de largo, conectadas juntas en un extremo y el otro terminando en el borde del tablero, formando una "U". El espacio entre el centro de una traza y el centro de la otra es  $S > 1$  mm. Cada traza en forma de "U" es conectada en el fondo, a un lado de un balun coaxial rígido (transformador), similar a los usados para los dipolos de referencia del Anexo E, con los brazos del balun separados una distancia  $D$ . Para prevenir filtraciones, la penetración del fantasma debe ser sellada en la base del cuadripolo.



**Figura B.9 - Montaje para evaluar la habilidad de la sonda de distinguir entre dos picos de TAE eléctricamente cercanos: (a) fantasma plano con un cuadripolo inmerso; (b) detalles del cuadripolo balanceado.**

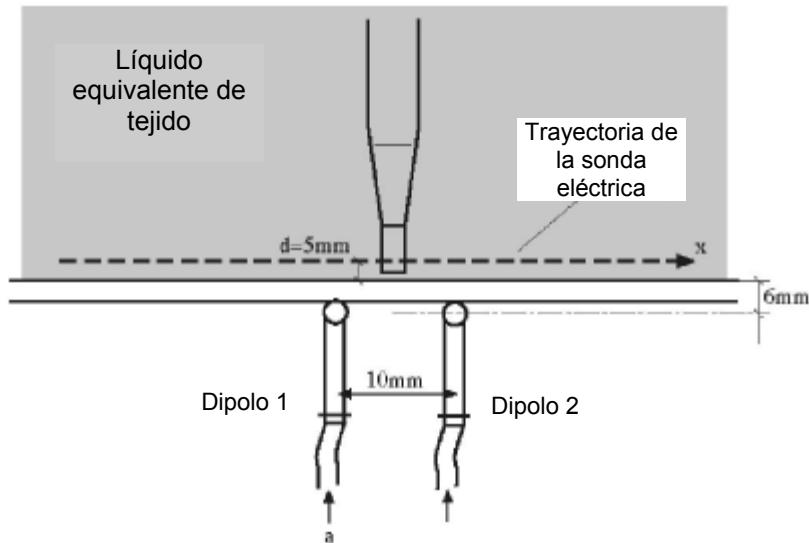
El procedimiento de la prueba es como sigue:

- a) Alinear el centro de la sonda con el centro de la línea entre el PCB y el plano de las cuatro puntas o trazas de circuitos.
- b) Mover la sonda en pasos de 0.5 mm a lo largo de la línea central a través del cuadripolo y registrando la salida de la sonda en cada paso.
- c) Repetir los pasos a) y b) usando diferentes cuadripolos con  $S$  igual a 3, 4, 5,... mm hasta que dos picos se vuelvan distinguibles y la magnitud entre ellos sea menor que la mitad del promedio de los dos picos. El valor de  $S$  donde esto ocurre es definido como la distancia de la resolución espacial.

### **B.8.2 Efecto del desplazamiento del sensor del eje de la sonda en la resolución espacial**

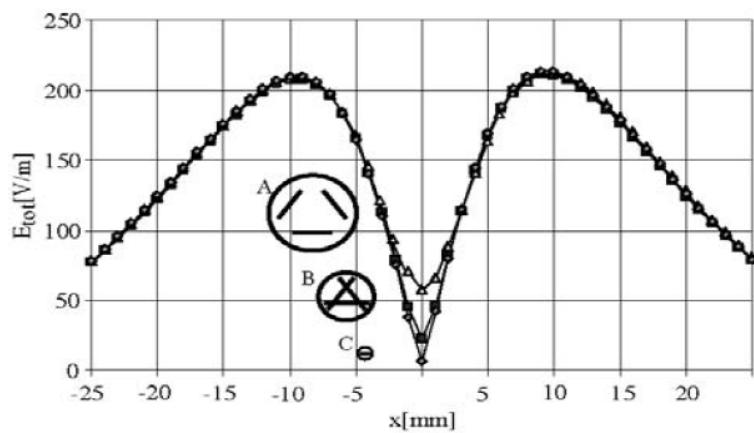
Este montaje experimental consta de dos dipolos paralelos alimentados con señales de fases opuestas que son colocados en contacto directo con un fantasma plano lleno con líquido equivalente de tejido (Figura B.10). Este montaje esta destinado a investigar el comportamiento de la sonda en gradientes normales de campos intensos al eje de la sonda. La Figura B.10 muestra un ejemplo de la respuesta a lo largo de una trayectoria ortogonal sobre el punto de alimentación del dipolo para las tres sondas usadas para dosimetría general y pruebas de TAE. Las secciones cruzadas de la sonda son mostradas en la misma escala. Las diferentes lecturas de la sonda en el área del mínimo de campo son debido al

desplazamiento del sensor y no a la integración del campo sobre los sensores. En el área de campo máximo, los gradientes del campo son significativamente pequeños y los tres sensores dan la misma lectura.



**Figura B.10 - Montaje usado para investigación del comportamiento dosimétrico de las sondas en campos gradientes intensos y normales. Los dipolos están paralelos el uno al otro y ortogonales a la página.**

Una reducción significativa de la medición de incertidumbre es posible en ciertas aplicaciones escogiendo una orientación apropiada del eje de la sonda. Si la sonda puede ser usada en una manera que prevenga fuertes gradientes normales en el eje de la sonda, el sensor de desplazamiento tiene poco impacto en la lectura de la sonda. Este es el caso para las mediciones en las envolturas de los fantasmas cuando la sonda está orientada mayormente normal a la superficie. Si el interés principal está en el máximo del campo, como en una prueba de conformidad, los campos gradientes son típicamente pequeños.



**Figura B.11 - Campo-E total a lo largo del eje x a  $d = 5$  mm (ver Figura B.10) medido con la sonda A ( $\Delta$ ), sonda B ( $\square$ ) y sonda C ( $\diamond$ ). El diámetro de la punta de esas sondas son 6.8 mm, 3.9 mm y 1 mm respectivamente.**

**B.9 Guía para el reporte y aplicación de la calibración de la sonda** Todo el Anexo 9 proviene de IEEE 1528: 2003 A.10, 78

El estándar IEEE 1309-2005 puede ser usado como base para cualquier calibración de sondas, y recomienda un número de artículos que son descritos abajo, adaptados a los parámetros de la presente norma:

- a) Nombre del laboratorio de calibración, ubicación del laboratorio y fecha de la calibración
- b) Identificación completa del sensor/sonda de campo calibrada y la electrónica de lectura (fabricante, modelo, número de serie, accesorios o configuración)
- c) Parámetros físicos geométricos y eléctricos de la sonda
- d) Declaración de "condición de recibido" (por ejemplo, tolerancia de entrada o salida, daños, datos actuales, etc.)
- e) Procedimientos y parámetros usados para calibrar
  - 1) Frecuencia
  - 2) Permitividad relativa del líquido equivalente de tejido,  $\epsilon'_r$  (f)
  - 3) Conductividad del líquido equivalente de tejido,  $\sigma$  (f)
  - 4) Sensibilidades en el aire,  $\eta_i$
  - 5) Factores de conversión,  $\gamma_i$  (f)
  - 6) Puntos de compresión del diodo
  - 7) Isotropía (axial y hemisférica)
  - 8) Resolución espacial
  - 9) Efecto de frontera
  - 10) Linealidad (incluyendo la documentación de las evaluaciones de linealidad de B.4)
  - 11) Parámetros de la interfaz de la electrónica de lectura
- f) Método de calibración usado para cada frecuencia
- g) Puntos de frecuencia medidos, niveles de campo, parámetros dieléctricos de la mezcla, y data de cada punto
  - 1) Calibración térmica: diagramas en el cambio de temperatura, calor específico de la mezcla
  - 2) Calibración de la guía de onda: TAE local respecto a las curvas de profundidad
- h) Especificaciones de validez de calibración (rango de frecuencia, rangos de permitividad y conductividad) y documentación de soporte
- i) Condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.)
- j) Otras condiciones de prueba y petición de resultados por el cliente
- k) Declaración y determinación de la incertidumbre

- l) Declaración de trazabilidad y estándar usado. Aunque la TAE no es trazable, la evidencia de trazabilidad empleada para calibrar la instrumentación debe ser provista.
- m) Firma, sello, o alguna otra marca de identificación del técnico o ingeniero de calibración

COMENTARIO: Este anexo en su mayor parte es tomado de la IEC 62209-1: 2005 debido a que prácticamente es el mismo contenido en la IEEE 1528: 2003, salvo pocas diferencias. Se agregaron procedimientos de la norma IEEE 1528: 2003 que no se encontraban en la IEC 62209-1: 2005 y viceversa, debido a que se consideraron complementarios para ciertos aspectos, así como algunas tablas de interés. Este anexo está principalmente enfocado a la calibración de la sonda, la cual normalmente es calibrada por el fabricante (según expertos de otros países), sin embargo, este procedimiento podría aplicarse en el país para evitar tener que llevar la sonda hasta esos lugares para su calibración. No todos los instrumentos necesarios para la calibración vienen incluidos en el sistema de medición de TAE, como por ejemplo el recipiente esférico, el cuadripolo, etc., estos deben ser adquiridos si se desea llevar a cabo la calibración por cuenta propia.

## Anexo C (normativo)

### Técnicas de post procesamiento<sup>31</sup>

Todo el Anexo C proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo C

## C.1 Procesos de extrapolación y de interpolación

### C.1.1 Introducción

El TAE local, en el interior del fantasma, es medido usando pequeños sensores dipolos encerrados en una carcasa/cubierta de la sonda. La calibración de la sonda y la medición del campo-E es usualmente hecha respecto al centro geométrico del conjunto de los dipolos internos. Es necesario justificar el hecho de que los dipolos están a pocos milímetros de la punta física de la sonda cuando se definen las posiciones de medición. La extremidad de la sonda no debe estar en contacto con la superficie del fantasma a fin de reducir al mínimo los errores de medición, pero la TAE local más elevada se producirá en la superficie del fantasma. Esos valores máximos locales de TAE son esenciales para determinar el pico espacial promedio de TAE, y debe ser obtenido por extrapolación de las mediciones hechas a grandes distancias de la carcasa del fantasma. La precisión en la medición del pico espacial promedio de TAE requiere una resolución muy fina en el barrido tridimensional del arreglo de la data. Debido a que las mediciones deben ser realizadas sobre un periodo de tiempo limitado, por ejemplo, debido a la duración de la batería, la data medida debe ser interpolada para proveer un arreglo con suficiente resolución. La incertidumbre resultante de la interpolación, extrapolación, integración y el cálculo de promedios son deducidos suponiendo que no hay incertidumbres en el lugar de los puntos de medición.

### C.1.2 Esquemas de interpolación

La interpolación puede ser realizada usando varias técnicas matemáticas como las estadísticas [14], ajuste de función de base [32], análisis de Fourier [13], ondaletas<sup>32</sup> [15] o ajuste de un polinomio o de una función spline<sup>33</sup> [59]. Varios libros de matemáticas informáticas, por ejemplo, [53], describe como implementar esos métodos.

### C.1.3 Esquemas de extrapolación

La extrapolación puede ser realizada usando splines, splines bi armónicas, ondeletas, polinomios o funciones racionales. Varios libros de matemática computacional describen como implementar algunos de esos métodos. Debido que la precisión de extrapolación depende de la distancia y de la distribución del campo en cuestión, la incertidumbre asociada con la extrapolación debe ser estimada cuidadosamente.

## C.2 Procedimiento de promediación y búsqueda del máximo

<sup>31</sup> Comentario: Se consideró eliminar del título la frase “estimación de la incertidumbre”, ya que el mismo es netamente sobre post procesamiento y no se especifica ningún cálculo de incertidumbres.

<sup>32</sup> La transformada wavelet (ondículas, ondaletas u onditas) representa una señal en términos de versiones trasladadas y dilatadas de una onda finita (denominada wavelet madre). <http://es.wikipedia.org/wiki/Wavelet>

<sup>33</sup> En el subcampo matemático del análisis numérico, un spline es una curva definida a trozos mediante polinomios. <http://es.wikipedia.org/wiki/Spline>

## C.2.1 Introducción

Los volúmenes cúbicos evaluados para promediar las mediciones locales de TAE después de la extrapolación e interpolación, deben estar cercanos a la superficie del fantasma para incluir los mayores valores de TAE local. En post procesamiento, el cubo promediado debe ser rotado y desplazado para coincidir con la superficie.

### C.2.2.1 Método de los tres puntos

Una cara del cubo puede ser ajustada a la superficie del fantasma, orientándola de tal manera que tres de sus vértices coincidan con la superficie. Las posiciones de los cinco vértices remanentes del cubo pueden entonces ser identificados. El espacio entre el cubo y la superficie del fantasma debe ser incluido en el volumen de integración porque es probable que constituya una zona de alto nivel de TAE. Este puede ser completado distorsionando la superficie del cubo para la conformación de la superficie interna cóncava del fantasma, de esta manera la superficie opuesta distorsionada del cubo mantiene de la misma manera una masa promedio de 1 g o 10 g. Los 3 puntos de localización deben ser barridos sobre la superficie del fantasma para evaluar el máximo de TAE que ocurre sobre cualquier cubo de 1 g o 10 g. La Figura C.1 ilustra el método de los tres puntos.

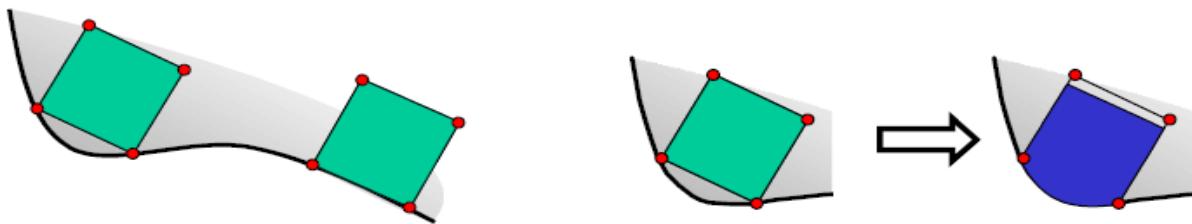
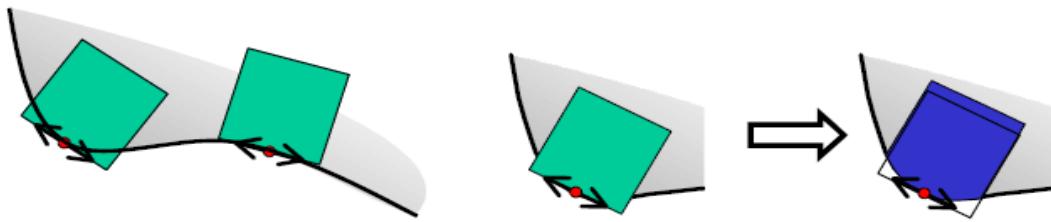


Figura C.1 - Método de los tres puntos

### C.2.2.2 Método de la cara tangencial

Otro método es escoger un punto sobre el fantasma y definir que este coincida con el centro de una cara del cubo. Se seleccionan dos vectores tangenciales y estos pueden ser usados para acomodar la superficie del cubo a la tangente de la superficie del fantasma. Las posiciones de las caras restantes del cubo son determinadas antes de hacer la rotación del cubo alrededor de un vector normal a la superficie del fantasma para evaluar el pico espacial promedio de TAE. Como con el método previo, la superficie del cubo en contacto con la carcasa del fantasma debe estar conforme a fin de incluir completamente la región de la TAE localizada más alta. La cara opuesta al cubo es extendida o contraída para mantener una masa promedio de 1 g o 10 g. El cubo debe ser barrido y rotado en los puntos a lo largo de la superficie del fantasma para encontrar el máximo de TAE sobre el cubo de 1 g o 10 g. La Figura C.2 ilustra el método de la cara tangencial.



**Figura C.2 - Método de la cara tangencial**

### C.2.2.3 Método de promediación

El objetivo principal es obtener una masa promedio de 1 g o 10 g. Para lograr esto, los puntos de TAE pueden ser agregados capa por capa hasta hacer que el cubo crezca hasta que su masa exceda 1 g o 10 g. Entonces, la potencia absorbida correspondiente puede ser deducida por la interpolación lineal. La Figura C.3 ilustra el método de integración.

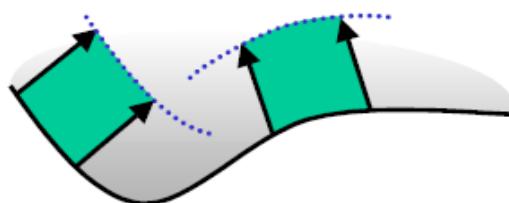
NOTA: Usualmente, el cubo de promediación es descrito en forma escalonada debido a la cuadrícula en la cual los puntos de medición tienen que ser interpolados. No obstante una interpolación puede ser realizada específicamente para el cubo como un método, representando un consumo de tiempo debido a que la interpolación es diferente para cada cubo de promediación.



**Figura C.3 - Método de promediación**

### C.2.3 Método de integración por extrusión<sup>34</sup>

El método de integración es intrínsecamente simple debido a que el cubo conforma esencialmente la cuadrícula de medición, o al menos conforma la cuadrícula de datos extrapolada e interpolada. El pico espacial promedio de TAE se encuentra moviendo el cubo de promediación sobre una región seleccionada, por ejemplo, una región con una TAE local por encima de algún criterio. La Figura C.4 ilustra el método de integración por extrusión. El barrido del volumen puede realizarse paralelamente a la superficie del fantasma. Esto asegura que el volumen extruido esté cercano a la forma cúbica, y conforme a la superficie.



**Figura C.4 - Método de promediación por extrusión**

<sup>34</sup> Extrusión, en general, es la acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta. [www.es.wikipedia.org/wiki/Extrusión](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Extrusión)

#### **C.2.4 Procedimiento de promediación y búsqueda del máximo**

El pico local de TAE ocurrirá en la superficie interna del fantasma, de tal manera que el pico espacial promedio de TAE debe ocurrir en un volumen cúbico de tejido en la superficie del fantasma. Es conveniente centrar el barrido de medición de alta resolución en el pico local de TAE, determinado a partir de un barrido de la superficie interior del fantasma. Esta superficie barrida debe extenderse en todas las direcciones al menos 1,5 veces la dimensión lineal del cubo de tejido usado para hacer la medición de la masa. Algoritmos controlados por computadora deben ser usados para determinar la TAE más alta de acuerdo a los gradientes de TAE local en el cubo de integración de la masa. La contribución de la incertidumbre en el proceso de integración y búsqueda del máximo, es incluido en los métodos de evaluación de 7.2.4 debido a que estos últimos no solo sirven como una prueba benchmark para la interpolación y extrapolación, sino también para los procesos de integración y búsqueda de los valores máximos.

### **C.3 Ejemplo de aplicación de los parámetros para el barrido y evaluación de la data**

#### **C.3.1 Introducción**

Los párrafos siguientes describen los ejemplos de los parámetros para la aplicación de los procedimientos de medición de TAE y de evaluación de datos. Estos son solamente destinados para ilustrar una aplicación en particular; otras aplicaciones son posibles.

#### **C.3.2 Barrido de área para la búsqueda del máximo**

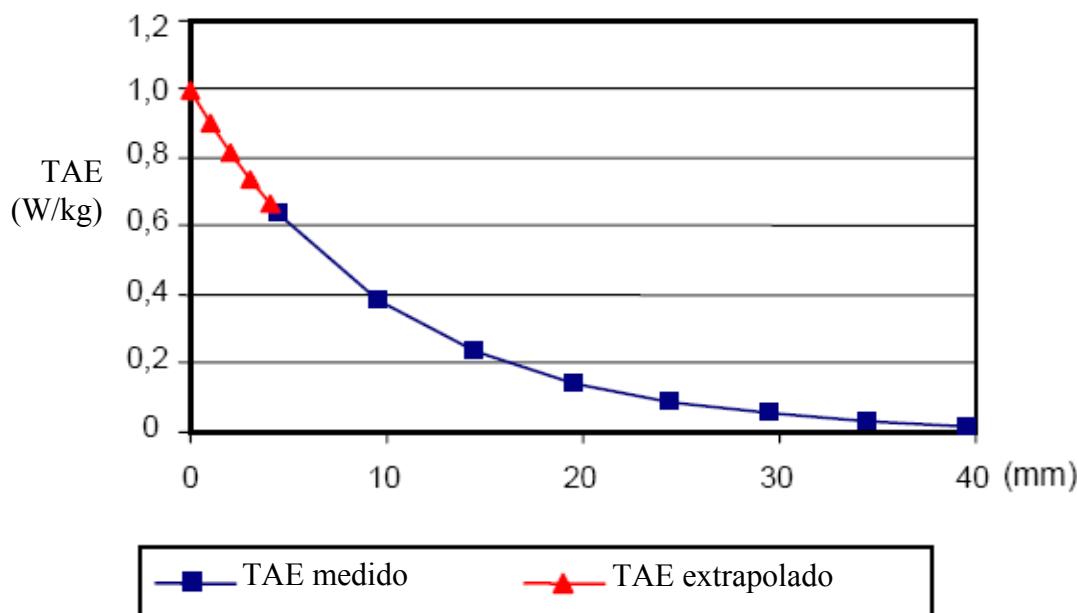
Para los equipos de mano que operen sobre los 300 MHz evaluados con un modelo de cabeza homogénea, la distribución de TAE es medida en una cuadrícula gruesa de dos dimensiones a una distancia de separación fija de al menos 8 mm desde la carcasa del fantasma. La región del barrido debe cubrir todas las áreas que son expuestas e incluidas en la proyección del equipo. Para mantener una distancia fija de menos de 8 mm de la superficie con  $\pm 1$  mm, como es requerido por el protocolo de medición, la forma exacta y dimensiones de la superficie interna del fantasma deben ser conocidas, pre calibradas, o preferiblemente detectados durante la medición de TAE con un mecanismo de detección de superficie mecánico u óptico que cumpla con los requerimientos de posicionamiento de la sonda. La técnica de evaluación determina el espacio máximo entre los puntos de la cuadrícula, es decir, se ha encontrado que una cuadrícula de 20 mm x 20 mm es usualmente suficiente para lograr la precisión requerida si dos splines cúbicos escalonados de una dimensión, [53] son usados para localizar el máximo de TAE [55].

#### **C.3.3 Barrido volumétrico**

El máximo de TAE local es evaluado sobre una cuadrícula interpolada con una resolución de 1 mm a 2 mm durante el *barrido volumétrico*. Se puede escoger un *barrido volumétrico* de 32 mm x 32 mm x 30 mm, consistiendo de 5 x 5 x 7 puntos con su centro en la ubicación del máximo de TAE determinado durante el área *de barrido*. Aunque la resolución del barrido de 8 mm es suficiente para direcciones paralelas a la superficie, 5 mm es necesario en la dirección normal a la superficie del fantasma para lograr la precisión de extrapolación requerida.

### C.3.4 Extrapolación

Debido a que la ubicación real de la medición de la sonda de campo corresponde al centro geométrico del sensor del dipolo, el cual está desplazado de la punta de la sonda, los valores de TAE requeridos para calcular la TAE de 1 g o 10 g entre la superficie del fantasma y los puntos de medición más cercanos, deben ser determinados por extrapolación. Mientras que una curva exponencial puede no ser adecuada para extrapolar muchas de las distribuciones típicas de TAE que ocurren en las evaluaciones de los equipos, un ajuste polinomial de mínimos cuadrados de cuarto orden de la data medida, usualmente provee resultados satisfactorios. Los puntos triangulares mostrados en la Figura C.5 representan los valores de TAE extrapolados a pasos de 1 mm para los próximos puntos de la superficie del fantasma que no pueden ser medidos.



**Figura C.5 - Extrapolación de la data de TAE a la superficie interna del fantasma, basado en la adaptación de una curva polinomial de mínimos cuadrados a los datos medidos (cuadrados).**

### C.3.5 Interpolación

Los valores de TAE medidos y extrapolados en el volumen del *barrido volumétrico*, son interpolados a una cuadrícula de 1 mm para determinar el máximo de TAE en 1 g o 10 g, por ejemplo, usando tres funciones splines cúbicas colocadas de forma escalonada en una dimensión.

### C.3.6 Integración

Una solución para integrar la TAE en un cubo de 1 g o 10 g es aportada por un algoritmo trapezoidal básico. La medición de TAE máxima puede ser evaluado por la integración numérica de todos los cubos posibles de 1 g o 10 g dentro del *barrido volumétrico*, o aplicando algoritmos de búsquedas más complejos. Si la superficie del cubo de 1 g o 10 g está tocando el borde del *barrido volumétrico*, una prueba completa de *barrido volumétrico* debe ser repetida con el nuevo centro localizado en la ubicación del máximo de TAE indicado por la medición precedente del máximo espacial de 1 g o 10 g.

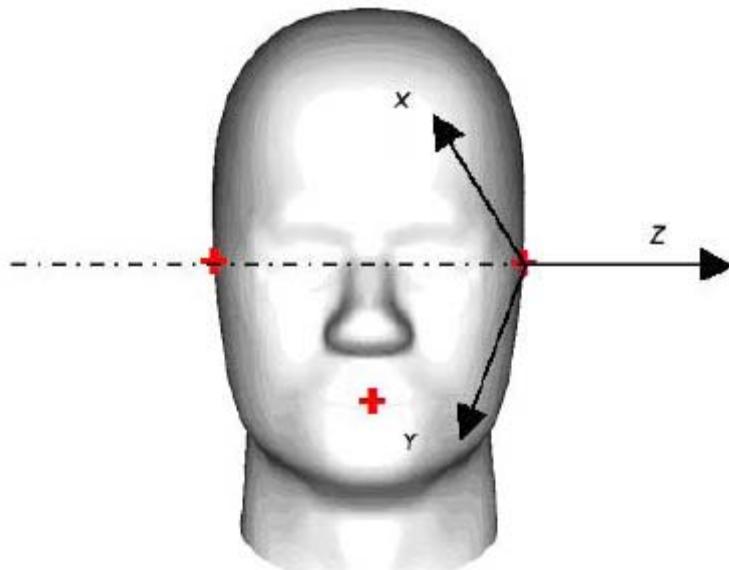
COMENTARIO: El estándar IEEE 1528: 2003 en su Anexo F agrega al tema de este anexo ejemplos de las funciones de distribución artificial de post procesamiento de TAE (F.4.2), mecanismo de absorción de energía en campo cercano y aproximación de TAE para fuentes dipolo en interfaz dieléctrica/aire planares (F.4.3). Estos son básicamente ejemplos de los diferentes tipos post procesamiento y se considera que no son necesarios para la norma, de hecho, la norma IEC 62209-1: 2005 siendo más reciente que el estándar IEEE 1528: 2003 elimina estos ejemplos. En la parte final de esta información adicional, se coloca una serie de fórmulas las cuales tienen como finalidad mostrar como se calcula el valor de TAE trasladado a la superficie de la carcasa del fantasma y llegar a la conclusión de que este valor es proporcional al cuadrado de la magnitud de la corriente y no a la potencia de entrada, del resto, la información no es necesaria para el cumplimiento de la finalidad de la norma.

## Anexo D (informativo)

Todo el Anexo D proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo F

### Definición del sistema de coordenadas de un fantasma y del sistema de coordenadas de un equipo bajo prueba

El desplazamiento y rotación entre los sistemas de coordenadas de referencia opcionales, pueden ser utilizados para obtener una descripción no ambigua de la posición del equipo relativa al fantasma. Una definición del sistema de coordenadas del fantasma es ilustrada en la Figura D.1:



Leyenda

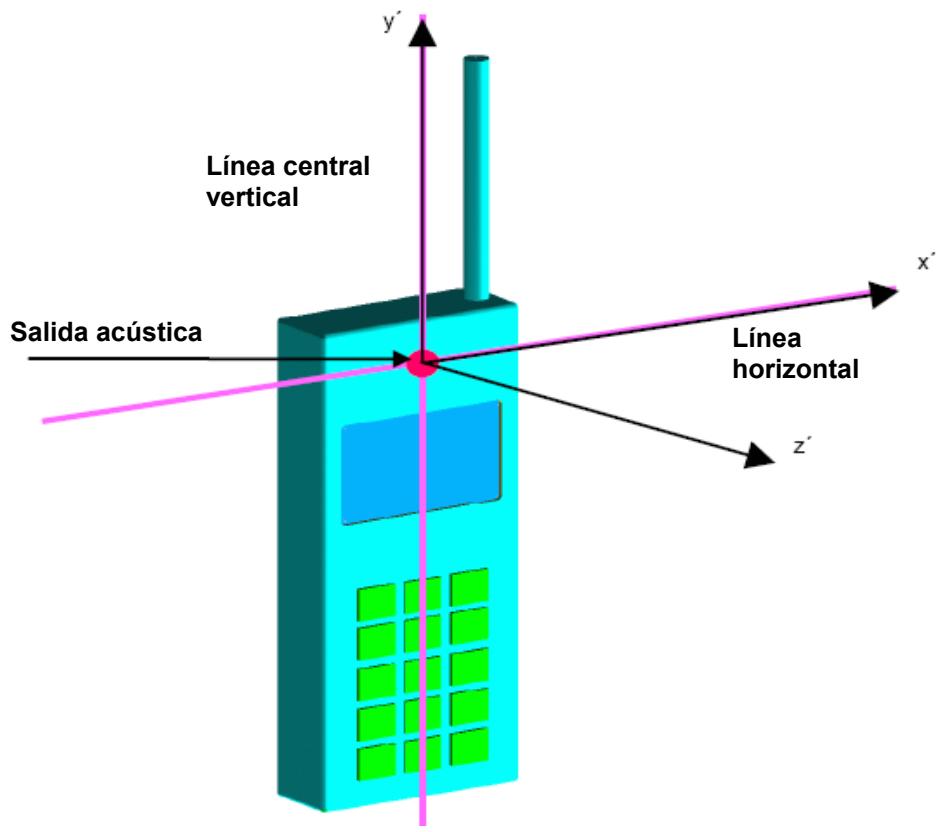
$x, y, z$  Ejes de coordenada para el fantasma

**Figura D.1 Ejemplo del sistema de coordenadas de referencia para el fantasma MAE.**

Los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$  deben formar un sistema de coordenadas orientado a la derecha. Los ejes están definidos como sigue:

- El eje  $z$  está definido conectando una línea entre los puntos de referencia de la oreja izquierda y derecha. El origen  $z = 0$  está en el punto de referencia de la oreja izquierda.
- El eje  $y$  está en el plano de referencia y es perpendicular al eje  $z$ .
- El eje  $x$  es normal al plano de referencia y corta el plano de referencia en el punto de referencia de la oreja.

Una definición del sistema de coordenadas de un equipo bajo prueba (EBP) es ilustrado en la Figura D.2.



Leyenda

$x', y', z'$  Ejes del sistema de coordenadas para el equipo.

**Figura D.2 - Ejemplo del sistema de coordenadas para un equipo bajo prueba**

**Anexo E**  
(informativo)

Todo el Anexo E proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo G

**Dipolos de validación**

Como se especifica en la cláusula 9 un fantasma plano debe ser irradiado usando un dipolo de referencia para la frecuencia requerida. Los dipolos de referencia están definidos para parámetros dieléctricos específicos y grosores de la carcasa del fantasma indicados en la Tabla E.1. El dipolo de referencia debe ser posicionado debajo del fondo del fantasma y centrado con su eje paralelo a la dimensión más larga del fantasma. Un espaciador de bajas pérdidas y baja constante dieléctrica puede ser usado para establecer la distancia correcta entre el tope de la superficie del dipolo de referencia y el fondo de la superficie del fantasma. El espaciador no debe cambiar la medición de los valores de TAE de 1 g o 10 g promediados más de 1 %. La distancia entre el fondo de la superficie del fantasma lleno de líquido y el centro del dipolo de referencia (designada como  $s$ ) está especificada dentro de los 0.2 mm para cada frecuencia bajo prueba. El dipolo de referencia debe tener una pérdida de retorno mejor que -20 dB (medido en la prueba del sistema) a la frecuencia de prueba para reducir la incertidumbre y la medición de potencia. Para cumplir este requerimiento, es aceptable un ajuste fino de los dipolos de referencia usando un dieléctrico de bajas pérdidas o algún elemento de metal de ajuste al final del dipolo (Ver Figura 15).

**Tabla E.1 - Dimensiones mecánicas de los dipolos de referencia**

Frecuencia MHz	$L$ mm	$h$ mm	$d$ mm
300	396.0	250.0	6.35
450	270.0	166.7	6.35
835	161.0	89.8	3.6
900	149.0	83.3	3.6
1450	89.1	51.7	3.6
1800	72.0	41.7	3.6
1900	68.0	39.5	3.6
1950	66.3	38.5	3.6
2000	64.5	37.5	3.6
2450	51.5	30.4	3.6
3000	41.5	25.0	3.6

NOTA: Los valores para 300 MHz y 450 MHz son válidos para un grosor de la carcasa del fantasma de 6.3 mm; los valores para 835 MHz hasta 3000 MHz son válidos para un grosor de 2 mm. La tolerancia sobre  $L$ ,  $h$  y  $d$  deben ser mejores que  $\pm 2\%$ .

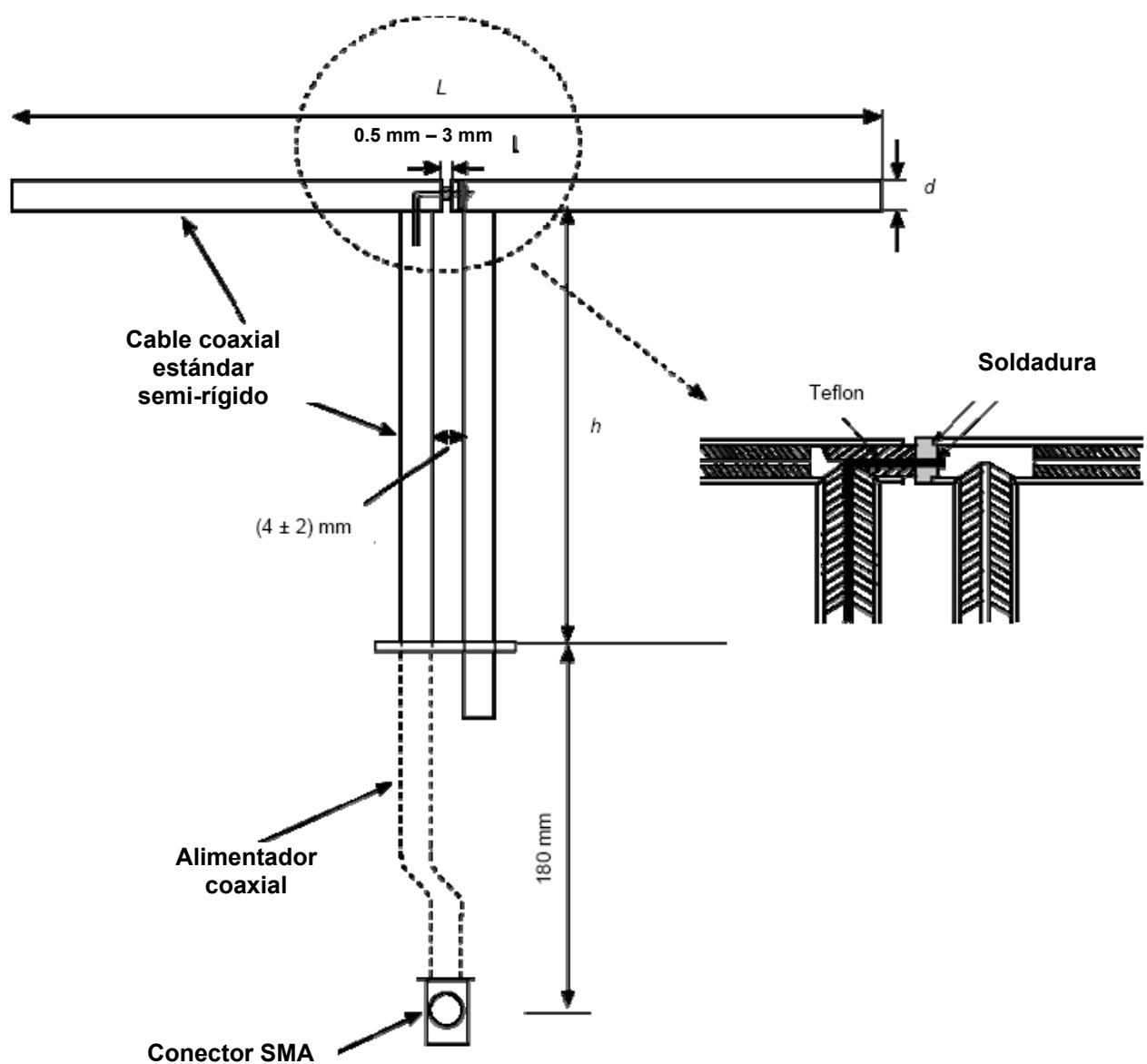


Figura E.1 - Detalles mecánicos del dipolo de referencia.

## Anexo F (informativo)

Todo el Anexo F proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo H

### Fantasma plano

La influencia de las dimensiones del fantasma plano (ver Figura F.1) en la energía absorbida en un cubo de 10 g dentro del fantasma (solamente el líquido, sin la carcasa) fue determinada numéricamente usando un código comercial FDTD<sup>35</sup>. El fantasma es iluminado con una antena dipolo acoplada a una distancia de 15 mm (0.042  $\lambda$  a 840 MHz). Las dimensiones del fantasma ( $W$  y  $L$ ) varían entre 0.4  $\lambda$  y 3  $\lambda$ . La potencia absorbida en el cubo fue normalizado alternativamente a una corriente en el punto de alimentación de 1 A y a una potencia en el punto de alimentación de 1 W. Sin embargo, ocurren desviaciones por la absorción de potencia en el cubo cuando es normalizado tanto en el punto de alimentación de potencia como en el punto de alimentación de corriente, las dimensiones mínimas necesarias para mantener la incertidumbre por debajo de 1 % fueron determinadas para ambos métodos de normalización. Las condiciones arriba mencionadas están dadas para las dimensiones de un fantasma plano mayor que 0.6  $\lambda$  en la longitud y mayor que 0.4  $\lambda$  en el ancho, como se muestra en la Figura F.1. La influencia del ancho del fantasma no es muy fuerte. Sin embargo, el ancho no debe ser menor que 0.4  $\lambda$  para mantener la desviación de la potencia absorbida dentro del límite de 1 %. Las dimensiones del montaje del fantasma pueden ser escaladas en términos de la longitud de onda en el espacio libre. La dependencia respecto a las propiedades del líquido no es tan crítica como para las pérdidas relativamente elevadas.

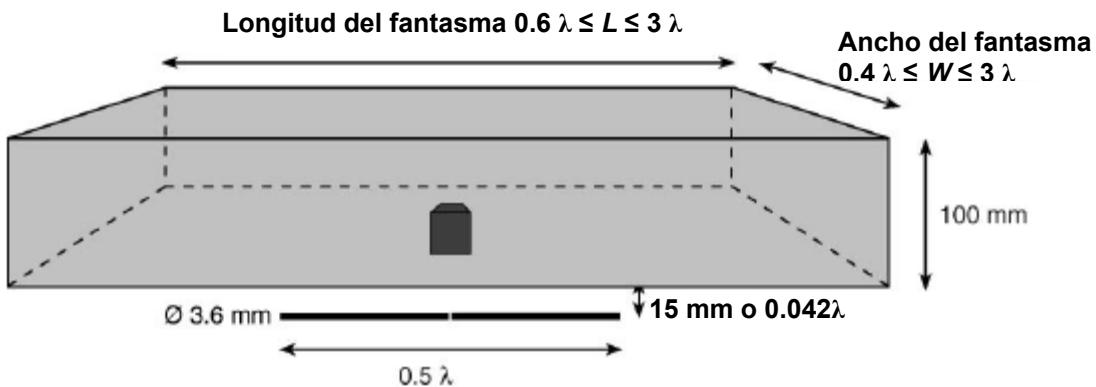
NOTA: Debido a sus grandes dimensiones, un cubo de integración de 10 g será más sensible a cambios en las dimensiones, es decir, la incertidumbre asociada a un cubo de promediación de 1 g es más pequeña que uno de 10 g.

Comentario: Como dato curioso, en el documento que muestra un ejemplo del cálculo de las incertidumbres facilitado por personal de SPEAG, se puede notar que la incertidumbre expandida de un cubo de 10 g fue menor que en un cubo de 1 g, de igual manera el personal del CPqD durante el curso dictado el 01 de noviembre de 2007, se mostró una tabla de incertidumbre de ejemplo donde la incertidumbre expandida del cubo de 10 g era menor que el de 1 g, contradiciendo lo que dice la nota anterior de la norma IEC 62209-1: 2005.

Los efectos se traducen en diferencias dependientes de las perturbaciones de la magnitud de la corriente del dipolo y la distribución espacial. Debido a que las dimensiones del dipolo son grandes comparadas con los volúmenes de integración de TAE, las perturbaciones se incrementarán con el tamaño del volumen. Además, la profundidad usada en este estudio fue de 10 cm, en lugar de los 15 cm requeridos para el fantasma plano en la cláusula 9, esto es 2.57 veces la profundidad de penetración a 840 MHz, y por lo tanto la potencia reflejada en la superficie del líquido es despreciable (menor que 1 %).

<sup>35</sup> FDTD, por sus siglas en inglés de Finite-Difference Time-Domain (Diferencia Finita en el Dominio del Tiempo), es una técnica popular de modelación electromagnética. Fácil de comprender, fácil de implementar en software, y debido que es una técnica en el dominio del tiempo, esta puede cubrir un amplio rango de frecuencias con una sola simulación.

Fuente: <http://www.pas.rochester.edu/~icpark/Vinos/whatisfDTD.html>

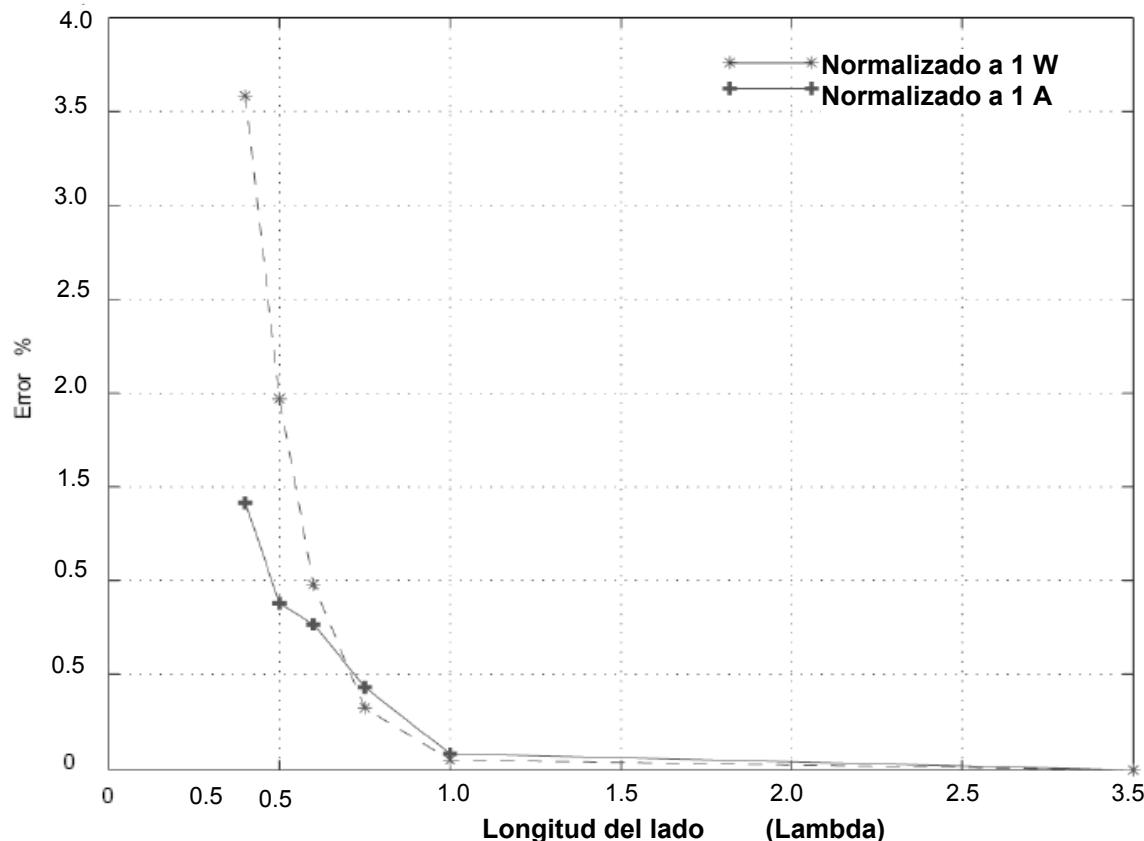


Leyenda

$\lambda$  longitud de onda del espacio libre

NOTA: Un cubo de 10 g es mostrado en el centro del fondo del fantasma plano.

**Figura F.1 - Dimensiones del montaje del fantasma plano usado para deducir las dimensiones mínimas para  $W$  y  $L$ .**



**Figura F.2 - Incertidumbre predicha por la utilización de un código FDTD, para el pico espacial promedio de TAE en un cubo de 10 g, en función de las dimensiones del fantasma plano comparado con un fantasma plano infinito.**

**Tabla F.1 - Parámetros usados para calcular los valores de TAE de referencia en la Tabla 6**

Frecuencia MHz	Grosor de la carcasa del fantasma mm	Permitividad de la carcasa del fantasma	Dimensiones del fantasma usado para el modelo FDTD mm <i>x, y, z</i>	Distancia <i>s</i> entre el dipolo de referencia y el líquido mm
300	6.3	3.7	1000, 800, 170	15
450	6.3	3.7	700, 600, 170	15
835	2.0	3.7	360, 300, 150	15
900	2.0	3.7	360, 300, 150	15
1450	2.0	3.7	240, 200, 150	10
1800	2.0	3.7	220, 160, 150	10
1900	2.0	3.7	220, 160, 150	10
1950	2.0	3.7	220, 160, 150	10
2000	2.0	3.7	160, 140, 150	10
2450	2.0	3.7	180, 120, 150	10
3000	2.0	3.7	220, 160, 150	10
Esta tabla representa los parámetros usados para el modelo numérico FDTD.				

## Anexo G (informativo)

Todo el Anexo G proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo I

### Fórmulas recomendadas para los líquidos equivalentes de los tejidos de la cabeza

#### G.1 Introducción

Las propiedades dieléctricas del material líquido usado en el fantasma, deben estar conformes con los listados en la Tabla 1. Para las propiedades dieléctricas del líquido equivalente del tejido de la cabeza a otras frecuencias dentro del rango de frecuencias, debe usarse un método de interpolación. La Tabla G.1 sugiere ejemplos de fórmulas para los líquidos que tienen sus parámetros como se definen en la Tabla 1.

#### ADVERTENCIA

Para la seguridad del personal, los usuarios deben seguir las instrucciones dadas en las hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS, Material Safety Data Sheet) para cualquier material, y/o cualquier regulación local.

#### G.2 Ingredientes

Los siguientes ingredientes son utilizados para producir los líquidos de tejido equivalente:

- a) Sacarosa (azúcar) (> 98 % puro)
- b) Cloruro de sodio (sal) (> 99 % puro)
- c) Agua des-ionizada (resistividad de 16 MΩ como mínimo)
- d) Hidroxietil Celulosa (HEC)
- e) Bactericida
- f) Dietileno Glicol Butil Eter (DGBE) (> 99 % puro)
- g) Polietileno glicol mono [4-(1, 1, 3, 3-tetrametilbutil) fenil eter]. Disponible bajo el nombre de "Tritón X-100". La calidad del Tritón debe ser ultra pura para simular la composición de sal.<sup>36</sup>
- h) Diacetín
- i) 1,2-Propanediol

NOTA 1: La viscosidad de los líquidos equivalentes de tejidos basados en HEC debe ser lo suficientemente baja para no afectar el movimiento de la sonda de campo-E.

NOTA 2: Agregar sal al agua primero para hacer la solución salina, luego agregar el Tritón X-100.

NOTA 3: Los resultados reales y porcentajes de las mezclas pueden variar de aquellos mostrados dependiendo del grado y tipo de componentes usados.

36 Las fórmulas del contenido de Tritón X-100 están bajo revisión y verificación.

### G.3 Fórmulas del líquido equivalente de tejido (permitividad/conductividad)

**Tabla G.1 - Fórmulas sugeridas para obtener los parámetros dieléctricos de referencia para el tejido de la cabeza**

Frecuencia (MHz)	300	450			835	900			1450	1800			1900			1950	2000	2100		2450		3000																	
Fórmula No.	1	1	3	1	1	2	3	1	1	2	2	3	1	2	4	1	1	2	2	3	2																		
Ingredientes (% por peso)																																							
1,2-Propanediol						64.81																																	
Diacetin			48.9				49.2						49.43									49.75																	
Bactericida	0.19	0.19	0.5	0.10	0.10		0.5						0.50									0.50																	
DGBE								45.51	47.00	13.84	44.92		44.92	13.84	45.0	50.0	50.0	7.99	7.99			7.99																	
HEC	0.98	0.98		1.00	1.00																																		
NaCl	5.95	3.95	1.7	1.45	1.48	0.79	1.1	0.67	0.36	0.35	0.18	0.64	0.18	0.35					0.16	0.16		0.16																	
Sacarosa	55.32	56.32		57.00	56.50																																		
Tritón X-100										30.45					30.45					19.97	19.97		19.97																
Agua	37.56	38.56	48.9	40.45	40.92	34.40	49.2	53.82	52.64	55.36	54.90	49.43	54.90	55.36	55.0	50.0	50.0	71.88	71.88	49.75	71.88																		
Parámetros de medición dieléctrica																																							
$\epsilon_r'$	46.0	43.4	44.3	41.6	41.2	41.8	42.7	40.9	39.3	41.0	40.4	39.2	39.9	41.0	40.1	37.0	36.8	41.1	40.3	39.2	37.9																		
$\sigma$ (S/m)	0.86	0.85	0.90	0.90	0.98	0.97	0.99	1.21	1.39	1.38	1.40	1.40	1.42	1.38	1.41	1.40	1.51	1.55	1.88	1.82	2.46																		
Temp. (°C)	22	22	20	22	22	22	20	22	22	21	22	20	21	21	20	22	22	20	20	20	20																		
Valores de referencia (de la Tabla 1)																																							
$\epsilon_r'$	45.3	43.5		41.5	41.5			40.5	40.0							39.8			39.2		38.5																		
$\sigma$ (S/m)	0.87	0.87		0.90	0.97			1.20	1.40							1.49			1.80		2.40																		
NOTA 1: Múltiples columnas para una misma frecuencia indica fórmulas opcionales																																							
NOTA 2: Número de la fórmula, referencia: 1 [29], 2 [60], 3 [48], 4 [15].																																							

## **Anexo H** (informativo)

Todo el Anexo H proviene de IEC 62209-1: 2005 Anexo J

### **Mediciones de las propiedades dieléctricas de los líquidos y estimación de la incertidumbre**

#### **H.1 Introducción**

La cláusula H.2 describe las mediciones de las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido, como una parte integral del proceso de caracterización de TAE. Esto está destinado a proveer suficientes detalles para permitir a los usuarios seleccionar el procedimiento de medición en base a su conveniencia y desempeño. Las propiedades dieléctricas de algunos líquidos de referencia son suministrados en la cláusula H.6 para ser usado en la evaluación del desempeño de los procedimientos de medición. Los procedimientos generales para evaluar las incertidumbres de medición de los parámetros dieléctricos son dados en la cláusula H.7.

#### **H.2 Técnicas de medición**

Los parámetros dieléctricos requeridos son la permitividad compleja relativa  $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\sigma/\omega\epsilon_0$  del líquido equivalente de tejido a las frecuencias y temperaturas de pruebas específicas. Muchas técnicas bien establecidas pueden ser utilizadas para las mediciones de las propiedades dieléctricas del líquido equivalente de tejido.

##### **H.2.1 Instrumentación**

La siguiente instrumentación o su equivalente es requerida:

- a) Analizador de redes vectoriales y un kit medidor de parámetros S.
- b) Un soporte de muestra, también conocido como célula de prueba dieléctrica o sonda dieléctrica.
- c) Los procedimientos de prueba y software de aplicación para extraer las propiedades dieléctricas de las muestras para las mediciones de los parámetros S.

Tres soportes de muestras y las correspondientes metodologías de pruebas están descritos en las cláusulas H.3 y H.5. Que la precisión pueda ser alcanzada, depende de la precisión del fabricante de las células de prueba. Las dimensiones de las células de prueba son proporcionales a los rangos de frecuencia de medición. Los procedimientos son válidos para las mediciones de los líquidos de referencia.

##### **H.2.2 Principios generales**

Los siguientes principios generales deben ser aplicados para todos los procedimientos.

- a) Asegurarse que el soporte de muestra esté totalmente limpio.

- b) Asegurarse que todas las células, las sondas, los cables y conectores no estén dañados.
- c) Asegurarse que el procedimiento para llenar el soporte de la muestra con el líquido de muestra llene el volumen completamente sin atrapar burbujas de aire.
- d) Asegurarse que la temperatura de la muestra sea registrada, y el reporte de las propiedades dieléctricas sean aplicables a esa temperatura solamente.
- e) Asegurarse que el personal que efectúa las mediciones esté familiarizado con la naturaleza de las mediciones y con el objetivo de cada etapa del procedimiento.
- f) Asegurarse que después de la calibración, se realice una medición sobre un líquido de referencia para validar el sistema antes de medir la muestra. La data para muchos líquidos de referencia están dados en la cláusula H.6.
- g) Asegurarse que los métodos de reducción de datos para el coeficiente de reflexión complejo relativo y la permitividad compleja sean precisos y apropiados a la geometría del soporte de muestra usado.

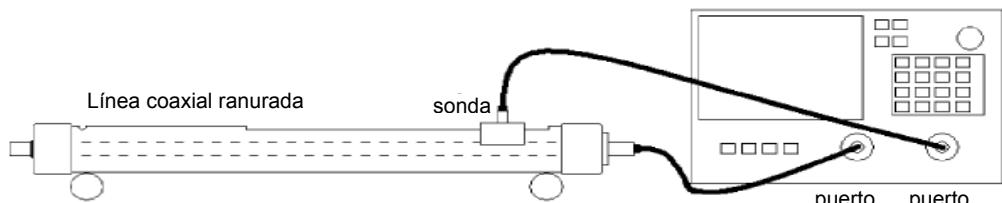
### **H.3 Línea ranurada**

Una línea de transmisión coaxial ranurada con terminación en una sonda móvil puede ser usada como un soporte de muestra [4]. Un analizador de redes provee la señal RF a la entrada de la línea ranurada y permite determinar la magnitud y fase de la señal transmitida en la muestra para ser determinada en función de la posición a lo largo de la línea por medio de la sonda móvil.

El procedimiento de medición debe especificar la calibración del analizador de redes y cambios para el rango de frecuencia requerida, la posición del punto de medición de partida, el tamaño del paso a lo largo de la ranura, y el número total de posiciones de medición subsecuentes. El software de aplicación debe interpretar la data medida para producir las propiedades dieléctricas de la muestra. Un ejemplo del procedimiento está dado en el próximo párrafo.

#### **H.3.1 Montaje del equipamiento**

El equipamiento de medición consiste en una línea de transmisión coaxial ranurada con una sonda conectada al analizador de redes vectoriales, como se ilustra en la Figura H.1. La magnitud logarítmica y la fase de  $S_{21}$ , debe ser mostrada simultáneamente. La fuente de poder debe ser colocada a un nivel lo suficientemente alto para proveer una buena relación señal a ruido. La medición debe ser hecha periódicamente (anualmente o cada vez que la escala de medición a lo largo de la línea sea cambiada) en un líquido de referencia para validar el sistema. Ya que las cantidades medidas son las variaciones de magnitud y de fase en función de la distancia, la precisión de la escala es muy crítica.



NOTA: Aunque no se muestra el equipamiento para controlar la temperatura, el mismo es recomendado.

**Figura H.1 - Montaje de la línea ranurada**

Un analizador de redes inyecta una señal en una extremidad de la línea de transmisión coaxial ranurada. La sonda insertada a través de la ranura en el líquido equivalente de tejido, detecta la amplitud RF y la fase para cada posición de medición a lo largo de la longitud de la línea. Una calibración completa de los dos puertos del analizador de redes debe ser realizada antes de conectar el soporte de muestra, y se deben tomar las precauciones siguientes:

- Llenar la ranura cuidadosamente para evitar que queden atrapadas burbujas de aire. Esta operación debe ser realizada mientras la línea ranurada está horizontal.
- La sonda debe ser insertada en la ranura en la extremidad más cercana a la entrada del conector de la línea ranurada, asegurando que el líquido de tejido equivalente esté a ras con la superficie interna de la línea, y alineado con una posición bien definida en la escala de distancia de la línea ranurada.
- La sonda debe ser insertada perpendicularmente al eje longitudinal de la línea ranurada hasta conseguir una respuesta de amplitud estable y adecuada.

### H.3.2 Procedimiento de medición

- Configurar y calibrar el analizador de redes
- Medir de 10 a 20 puntos de datos de magnitud logarítmica y de fase a lo largo de la línea ranurada correspondiente a un cambio en magnitud alrededor de 30 dB.
- Trazar las curvas de magnitud logarítmica y de la fase de  $S_{21}$ , en función de la distancia medida.
- Determinar si los puntos graficados siguen cercanamente una aproximación lineal, basado en el coeficiente de correlación de una medida estadística similar. La data debe producir una buena correlación con una línea recta (coeficiente de correlación esperado  $r^2 > 0.99$  para materiales con pérdidas). Si no, rehacer las mediciones del líquido incrementando los puntos de muestreo para extender la variación de la magnitud desde 30 dB hasta 40 dB.

Nota: Para materiales de pocas pérdidas, asegurar que la línea ranurada es lo suficientemente larga para evitar reflexiones desde el extremo de la carga terminada.

f) Calcular la conductividad y permitividad relativa del líquido equivalente de tejido usando las ecuaciones siguientes deducidas de [54], [61].

$$\begin{aligned}\bar{\alpha} &= \frac{m_m \ln(10)}{20}; & Np/cm \\ \bar{\beta} &= \frac{m_p \pi}{180}; & rad/cm \\ \epsilon'_r &= \frac{(\bar{\beta})^2 - (\bar{\alpha})^2}{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0} \\ \sigma &= \frac{2\bar{\alpha}\bar{\beta}}{\omega\epsilon_0} \left( \frac{100 \text{ cm}}{m} \right); & S/m\end{aligned}$$

donde

$m_m$  y  $m_p$  son respectivamente las pendientes de las aproximaciones lineales de mínimos cuadrados de las gráficas de magnitud logarítmica y fase;

$\alpha$  y  $\beta$  son los coeficientes de atenuación y propagación a lo largo de la línea.

#### H.4 Sonda de contacto

Las sondas de contacto son las secciones de líneas de transmisión coaxiales de terminación abierta, usualmente con un anillo en su extremidad que cumple las funciones de un plano de tierra para los campos dispersos en el borde. Las mediciones son hechas colocando una sonda en contacto con la muestra y midiendo la admitancia o el coeficiente de reflexión respecto a la terminación del circuito abierto, usando un analizador de redes o instrumentación equivalente [3], [17], [52]. Las sondas coaxiales también pueden ser usadas para probar dieléctricos sólidos, por ejemplo muestras de masa de los materiales usados para construir el dispositivo de soporte o fantasma. Para minimizar los errores con las sondas de contacto, las superficies sólidas deben estar muy bien pulidas [1].

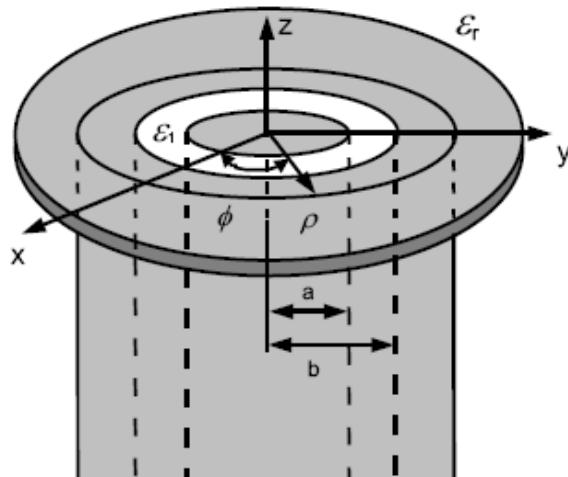
Es conveniente que los procedimientos de pruebas especifiquen la calibración y ajustes del analizador de redes para el rango de frecuencia requerido. El software de aplicación debe interpretar la data medida para determinar las propiedades dieléctricas de la muestra como una función de la frecuencia. Para usar esa técnica, una sonda y un paquete de software para el analizador de red tiene que ser desarrollado u obtenido de una fuente comercial. La metodología debe especificar el tamaño de la sonda y el rango de frecuencia aplicable. Un ejemplo del procedimiento es dado en las siguientes cláusulas.

##### H.4.1 Montaje del equipamiento

El equipamiento consiste de una sonda conectada a un puerto del analizador de redes vectoriales. La sonda es una línea coaxial con un extremo en abierto, como se muestra en la Figura H.2. Las coordenadas cilíndricas  $(\rho, \phi, z)$  son usadas, donde  $\rho$  es la distancia radial desde el eje,  $\phi$  es el desplazamiento angular alrededor del eje,  $z$  es el desplazamiento a lo largo

del eje  $z$ ,  $a$  es el radio interno del conductor y  $b$  es el radio externo del conductor.

El soporte de la muestra es un contenedor no-metálico que es largo comparado con el tamaño de la sonda inmersa en él. Una sonda con un diámetro externo  $b$  de 2 mm a 4 mm es adecuado para la medición de líquidos equivalentes de tejido en el rango de frecuencia desde los 300 MHz hasta los 3 GHz. Esta sonda es commensurable con los volúmenes de muestras de 50 cc o mayores. Sondas más largas de 7 mm de diámetro externo  $b$ , pueden ser usadas con volúmenes de muestra mayores. Un anillo es incluido normalmente para representar mejor un hipotético plano de tierra infinito, usado en los cálculos de admitancia.



Leyenda

- $a$  es el radio interno del conductor
- $b$  es el radio externo del conductor
- $z$  es el desplazamiento a lo largo del eje
- $\rho$  es la distancia radial desde el eje
- $\phi$  es el desplazamiento angular alrededor del eje
- $(x, y, z)$  son las coordenadas cartesianas

**Figura H.2 - Una sonda coaxial de terminación en abierto con los radios interno y externo respectivamente  $a$  y  $b$ .**

La precisión de las mediciones de corto circuito deben ser verificadas para cada calibración a un número de frecuencias. Un corto circuito puede ser realizado presionando suavemente una pieza de papel de aluminio contra la extremidad en abierto. Para un contacto eléctrico mejor, la extremidad de la sonda debe ser plana y libre de oxidación [2]. Sensores más grandes generalmente tienen una mejor repetibilidad de corto circuito. Es posible obtener un buen contacto con algunas sondas comerciales de 4.6 mm usando un disco de metal de corto circuito suministrado con el equipo. Para mejor repetibilidad, puede ser necesario presionar el disco con la mano.

Grandes errores de medición debido a las "resonancias del anillo" pueden ocurrir cuando el

diámetro del anillo es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda en el medio dieléctrico [5]. Dichos efectos están mayormente pronunciados para líquidos de alta permitividad que tienen una tangente de pérdida menor que aproximadamente 0.25 (a las frecuencias de los teléfonos móviles estas incluyen el agua, metanol y dimetil sulfóxido). En consecuencia, una calibración con un líquido que tiene una tangente de pérdida alta, por ejemplo, etanol, es fuertemente recomendada para sensores largos. Puede haber problemas calibrando en el agua sensores coaxiales que tienen anillos de 7 mm a ciertas frecuencias. Líquidos equivalentes de tejido tienen una tangente de pérdida cerca de 0.5, el cual es lo suficientemente alto para asegurar que los efectos de resonancia sean prácticamente despreciables sin importar el tamaño del sensor usado.

El analizador de redes es configurado para medir la magnitud y fase de la admitancia. Se efectúa una calibración de la reflexión a la entrada de un puerto en el plano de la sonda, con líquidos para el cual el coeficiente de reflexión es conocido y puede calcularse estando en contacto con la sonda. Tres referencias son necesarias para la calibración, típicamente un corto circuito, aire y agua des-ionizada a una temperatura bien definida (otros líquidos de referencia como metanol o etanol pueden ser usados para la calibración). La calibración es una parte clave del procedimiento de medición, y por lo tanto es importante asegurar que este ha sido llevado a cabo correctamente. Puede ser chequeado realizando una nueva medición de corto circuito para asegurar que el coeficiente de reflexión de  $\Gamma = -1.0$  (unidades lineales) es obtenido consistentemente.

#### H.4.2 Procedimiento de medición

- Configurar y calibrar el analizador de redes y el sistema de la sonda.
- Colocar la muestra en un contenedor no metálico y sumergir la sonda. Una abrazadera o sujetador es recomendado para estabilizar la sonda, montada de tal manera que la cara de la sonda forme un ángulo respecto a la superficie del líquido para minimizar las burbujas de aire atrapadas cerca del anillo.
- Medir la admitancia compleja respecto a la apertura de la sonda.
- Calcular la permitividad compleja relativa  $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\sigma/\omega\epsilon_0$ , por ejemplo a partir de la ecuación [52].

$$Y = \frac{j2\omega\epsilon'_r \epsilon_0}{[\ln(b/a)]^2} \int_a^b \int_0^{\pi} \int_0^{\pi} \cos\phi' \frac{\exp[-j\omega r(\mu_0\epsilon'_r \epsilon_0)^{1/2}]}{r} d\phi' d\rho' d\rho$$

[donde  $Y$  es la admitancia de la sonda en contacto con la muestra,  $\epsilon'_r$  es la permitividad relativa compleja referida a la fuente y donde las coordenadas primas y no primas se refieren a la fuente y al punto de observación respectivamente,  $r^2 = \rho^2 + \rho'^2 - 2\rho\rho'\cos\phi'$ ,  $\omega$  es la frecuencia angular y  $j = \sqrt{-1}$ .] (IEEE 1528: 2003 B.1.2.2, pág. 84)

La última expresión puede ser calculada numéricamente, o expandida en una serie y simplificada [17], [38], [39], [40]. Se resuelve primero la ecuación para un número  $k$  de ondas muestreadas y luego la muestra de permitividad compleja usando Newton-Raphson o alguna otra aproximación iterativa. Otras aproximaciones numéricas pueden ser usadas, por ejemplo

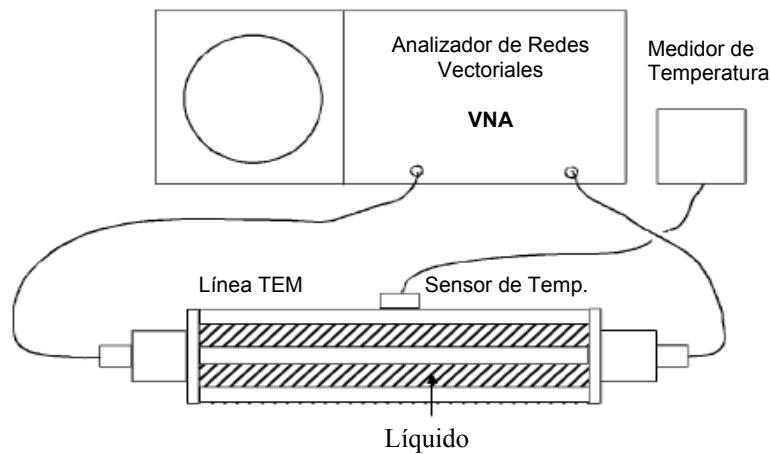
[41], [43], con la condición que el software de aplicación haya sido completamente probado y chequeado mediante mediciones de líquidos de referencia. Sondas coaxiales comerciales de terminación abierta típicamente usan versiones de esta teoría y método.

## H.5 Línea de transmisión TEM

Este método se basa en la medición del coeficiente de transmisión complejo de una línea de transmisión coaxial en modo TEM, lleno con un líquido de prueba. Una medición de transmisión se efectúa utilizando un analizador de redes vectoriales para determinar la magnitud y la fase del factor de dispersión  $S_{21}$ , del cual se calcula la permitividad compleja relativa. Los procedimientos de medición deben especificar los ajustes del analizador de redes y la calibración para el rango de frecuencias requerida. El software de aplicación debe interpretar la data medida para obtener las propiedades dieléctricas de la muestra como una función de la frecuencia.

### H.5.1 Montaje del equipamiento

El montaje de medición es ilustrado en la Figura H.3. El soporte de muestra es una línea TEM de pared abierta que consiste en un conductor central circular, dos conductores planos verticales de puesta a tierra (a los lados), una pared de fondo ópticamente transparente, una abertura en la parte superior y un sensor de temperatura. La longitud  $d$  es escogida para un rango de frecuencia de tal manera que el efecto de las múltiples reflexiones dentro del sensor sean mínimas, y la atenuación total no exceda el rango dinámico del analizador de redes. Por ejemplo, dos sensores con longitudes diferentes pueden cubrir el rango de frecuencia desde 800 MHz a 2000 MHz. La muestra es cuidadosamente inyectada o vertida dentro del recipiente, verificando si hay burbujas de aire a través de la pared transparente.



**Figura H.3 - Montaje para la prueba dieléctrica de una línea TEM**

### H.5.2 Procedimiento de medición

- Configurar y calibrar el analizador de redes.
- Registrar la magnitud y fase de  $S_{21}^0$  de la célula vacía a la frecuencia deseada.

- c) Inyectar el líquido de muestra en la célula, y repetir la medición para obtener el coeficiente de transmisión con la muestra  $S_{21}^S$
- d) Remover el líquido de la línea TEM, enjuagar bien el interior con agua, y secar cuidadosamente.
- e) Reconectar la línea coaxial al analizador de redes. Asegurarse que la magnitud y fase de  $S_{21}^0$  estén sin cambios (desviación menor que 0.1 dB en magnitud y 0.5° en la fase). Este paso es necesario solamente si se deben medir múltiples muestras.
- f) Calcular la permitividad compleja del líquido a partir de la magnitud y la fase de  $S_{21}^S/S_{21}^0$  para una solución numérica de las ecuaciones.

$$\frac{S_{21}^S}{S_{21}^0} = \frac{(1 - \Gamma^2) \exp[-j(k - k_0)d]}{1 - \Gamma^2 \exp(-j2kd)}$$

$$\Gamma = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$k = \frac{2\pi f}{c_0} \sqrt{\epsilon_r} = \omega \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

donde

- $\Gamma$  es el coeficiente de reflexión en la extremidad de la línea TEM;
- $k$  es el número de ondas en el líquido;
- $k_0$  es el número de ondas en el espacio libre;
- $d$  es la longitud del portador de la muestra (línea TEM);
- $f$  es la frecuencia;
- $c_0$  es la velocidad de la luz en espacio libre;
- $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\sigma/\omega\epsilon_0$  es la permitividad compleja relativa de la muestra;

## H.6 Propiedades dieléctricas de los líquidos de referencia

Los procedimientos en la cláusula H.2 recomiendan hacer mediciones de los líquidos de referencia que tienen sus propiedades dieléctricas bien establecidas para validar el sistema. Se requieren dos líquidos de referencia, uno para calibración, y otro para chequeo de la calibración. Una ecuación general para calcular las propiedades dieléctricas que dependen de la frecuencia es:

$$\epsilon_r = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{(1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha})^\beta} + \frac{\sigma_i}{j\omega\epsilon_0}$$

la cual corresponde a la ecuación de Debye para  $\alpha = 0$  y  $\beta = 1$ , a la ecuación de Cole-Cole para  $\beta = 1$  y  $0 < \alpha < 1$ , y la relación de Cole-Davidson para  $\alpha = 0$  y  $0 < \beta < 1$  [20].

donde

- $\epsilon_s$  es la permitividad estática a baja frecuencia
- $\epsilon_\infty$  es la permitividad asintótica a alta frecuencia
- $\tau$  es el tiempo de relajación
- $\sigma_i$  es la conductividad iónica

Los parámetros para calcular las propiedades de muchas referencias líquidas usando esta ecuación están dados en la Tabla H.1. Esos líquidos son dimetil sulfóxido, el metanol, el etanodiol y agua des-ionizada. Los parámetros  $\alpha$  y  $\sigma_i$  son cero para todos los líquidos listados en la Tabla H.1. Los parámetros del modelo fueron obtenidos usando varios métodos de pruebas descritos en la literatura. En general, los resultados obtenidos con las células de línea de transmisión cerradas a dos puertos, se suponen más precisos, pero los resultados de todas las fuentes listadas en la tabla concuerdan relativamente bien. La Tabla H.2 contiene los valores de la permitividad relativa y de la conductividad de referencia a 20 °C. Si usan otros líquidos de referencia, los valores de referencia y las referencias bibliográficas deben ser colocadas en el reporte de medición.

Es una buena práctica escoger los líquidos de referencia con propiedades dieléctricas similares a los líquidos equivalentes de tejido. Toda fórmula para la mezcla de un líquido de referencia debe ser seguida con exactitud, y las propiedades dieléctricas deben ser medidas a las temperaturas especificadas. Para evitar contaminación y evaporación, las mezclas no deben ser expuestas al aire. Los líquidos de referencia deben tener un alto nivel de pureza, por ejemplo, grado “para análisis” o mejor. Después de abrir, las botellas deben ser almacenadas en conformidad con la recomendación del fabricante, correspondiente a su tiempo de vida.

NOTA: Todo el personal debe estar familiarizado con la aplicación de procedimientos especiales de manipulación, conforme a la hoja de datos de seguridad del material (MSDS) para cada líquido en particular.

**Tabla H.1 - Parámetros para el cálculo de las propiedades dieléctricas de diferentes líquidos de referencia**

Líquido de referencia	Temperatura °C	Ref.	Modelo	$\epsilon_s$	$\epsilon_\infty$	$\tau$ (ps)	$\beta$
Agua DI	20	[27]	Debye	80.21	5.6	9.36	1
Agua DI	25	[27]	Debye	78.36	5.2	8.27	1
DMS	20	[19]*	Debye	47.13	7.13	21.27	1
DMS	25	[19]*	Debye	46.48	6.63	19.18	1
DMS	25	[27]	Cole-Davison	47.0	3.9	21.1	0.878
Etanodiol	20	[35]	Cole-Davison	41.4	3.7	164	0.8
Metanol	20	[17]	Debye	33.7	4.8	53.8	0
Metanol	20	[19]*	Debye	33.64	5.68	56.6	0
Metanol	25	[19]*	Debye	32.67	5.58	50.8	0

\*Data derivada de mediciones a 5 GHz solamente.

**Tabla H.2 - Propiedades dieléctricas de los líquidos de referencia a 20 °C**

Frecuencia	Metanol [17]		DMS [19]		Agua DI [27]		Etanodiol [35]	
	MHz	$\epsilon_r'$	$\sigma$	$\epsilon_r'$	$\sigma$	$\epsilon_r'$	$\sigma$	$\epsilon_r'$
300	33.33	0.05	47.07	0.03	80.19	0.02	39.01	0.14
450	32.94	0.11	46.99	0.06	80.16	0.05	34.49	0.30
835	31.37	0.35	46.64	0.20	80.03	0.17	29.15	0.75
900	31.04	0.41	46.56	0.24	80.00	0.20	28.00	0.83
1450	27.77	0.92	45.68	0.60	79.67	0.51	20.38	1.34
1800	25.51	1.27	44.94	0.91	79.38	0.78	17.23	1.58
1900	24.88	1.37	44.71	1.01	79.29	0.87	16.51	1.63
2000	24.25	1.47	44.46	1.11	79.19	0.96	15.85	1.69
2450	21.57	1.89	43.25	1.61	78.69	1.44	13.49	1.89
3000	18.76	2.33	41.59	2.31	77.96	2.13	11.56	2.07

### H.7 Estimación de las incertidumbres para las mediciones de los parámetros dieléctricos de los líquidos

Los procedimientos de medición descritos en este anexo utilizan los analizadores de redes vectoriales para las mediciones de las propiedades dieléctricas. Los analizadores de redes exigen una calibración a fin de tener en cuenta y eliminar las pérdidas y reflexiones inherentes. La incertidumbre para mediciones dieléctricas deriva de las imprecisiones en los datos de calibración, desviación del analizador y los errores aleatorios. Otras fuentes de errores residen en la tolerancia del soporte de la muestra, las desviaciones de las dimensiones óptimas para las frecuencias especificadas y las propiedades de la muestra. Esto es aplicable independientemente del tipo del soporte de muestra y la naturaleza de la dispersión de los parámetros a ser medidos. Las incertidumbres debido al ajuste de la línea recta contenida en el método de la línea ranurada puede ser evaluada usando análisis de mínimos cuadrados [57].

Un ejemplo de un análisis de incertidumbre es mostrado en la Tabla H.3. Todas las magnitudes influyentes pueden aplicarse o no para un montaje de medición o para un procedimiento específico, y otros componentes no listados pueden ser relevantes en algunos montajes de pruebas. Tabla H.3 también incluye valores numéricos de ejemplo. Dependiendo del montaje de prueba, la incertidumbre real estimada puede y debe diferir de los valores aquí mostrados. La medición de los líquidos de referencia bien caracterizados pueden ser utilizadas para estimar la incertidumbre de medición de las propiedades dieléctricas [10], [25], [37], [45], como lo descrito en el procedimiento siguiente.

- Configurar y calibrar el analizador de redes en un espectro de frecuencia lo suficientemente largo alrededor de la frecuencia central de interés, por ejemplo 835 MHz  $\pm$  100 MHz a 5 o más frecuencias dentro de la banda de transmisión del equipo.

- b) Medir un material de referencia al menos <sup>37</sup> 5 veces para obtener el promedio y la desviación estándar de la permitividad relativa y la conductividad para cada banda central y frecuencias cercanas del equipo.
- c) Para cada una de las pruebas desde b), verificar la validez de la calibración respecto a la frecuencia, calcular las diferencias entre las mediciones y data de referencia correspondiente (ver Tabla H.1) a 5 o más frecuencias dentro de la banda de transmisión del equipo usando las ecuaciones.

$$\varepsilon'_{r \text{ tolerancia}} [\%] = 100 \times \left| \frac{\varepsilon'_{r \text{ medida}} - \varepsilon'_{r \text{ ref}}}{\varepsilon'_{r \text{ ref}}} \right|$$

$$\sigma_{\text{tolerancia}} [\%] = 100 \times \left| \frac{\sigma_{\text{medida}} - \sigma_{\text{ref}}}{\sigma_{\text{ref}}} \right|$$

- d) Si las desviaciones estándares predeterminadas (ver 7.1.2) para la permitividad y conductividad están disponibles, calcular la desviación estándar del promedio ( $s/\sqrt{n}$ ), por ejemplo, [58], usando el valor máximo respecto a la frecuencia para las  $n$  tolerancias de la permitividad y conductividad de c); o alternativamente utilizar la desviación estándar de las series de pruebas actuales en la columna  $a$  de la Tabla H.3.
- e) Estimar la incertidumbre de tipo B para las otras componentes de la Tabla H.3 (y otros componentes relevantes si es necesario) en el rango de frecuencias bajo consideración.
- f) [ Las incertidumbres normalizadas combinadas individuales para  $\varepsilon_r'$  y  $\sigma$  son introducidas en la columna de tolerancia y las filas del líquido de prueba de la Tabla 4 y Tabla 5. Insertar una versión completa de la Tabla H.3 en el reporte de medición, junto con la razón por la cual fue usada u omitida las magnitudes influyentes. ] (IEEE 1528: 2003 E.3.3, 110)
- g) Medir un segundo material de referencia para verificar la validez de la calibración relativa, y asegurar que la data medida está acorde con los valores de referencia (ver H.6) como en el paso c). Si se sospecha de una desviación en el equipamiento, volver a las pruebas del líquido de referencia del paso b).

---

<sup>37</sup> Comentario: Se modificó “n” por “5”, ya que “n” es un número inexacto para ser un límite inferior de mediciones, por lo que se adopta la cantidad de 5, tomada del documento de excel de incertidumbres dado por la FCC (KDB Publication 865664, <https://fjallfoss.fcc.gov/oetcf/kdb/forms/FTSSearchResultPage.cfm?id=28242&switch=P>).

**Tabla H.3 - Ejemplo de la ficha de incertidumbre y ejemplo de valores numéricos para la medición de la constante dieléctrica ( $\epsilon_r'$ ) y de la conductividad ( $\sigma$ )**

	a		b	c	$u_i = (a/b) \times c$	
Componente de Incertidumbre	Tolerancia/ Valor de Incertidumbre ( $\pm \%$ )	Distribución de probabilidad	Divisor	$c_i$	Incertidumbre normalizada ( $\pm \%$ )	$v_i$ o $v_{eff}$
Repetibilidad (n repeticiones, banda media)		N	1	1		$n-1$
Líquido de referencia $\epsilon_r$ o $\sigma$		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Deriva del analizador de redes, linealidad, etc.		R	$\sqrt{3}$	1		$\infty$
Variaciones del cable de entrada de medición		U	$\sqrt{2}$	1		$\infty$
<b>Incertidumbre combinada normalizada</b>						
NOTA: Las cabeceras de las columnas a, b, c, son dadas para referencia. Tablas por separado son necesarias generalmente para cada $\epsilon_r'$ y $\sigma$ .						

## Bibliografía

Comentario: Todas las referencias bibliográficas poseen al final de cada una (en fondo azul) la referencia de la cual fue obtenida respectivamente de la norma IEC 62209-1: 2005. En caso de no ser de dicha norma se estipula de donde se obtuvo.

- [1] ARAI, M.J., BINNER, G.P., and CROSS, T.E., Estimating errors due to sample surface roughness in microwave complex permittivity measurements obtained using a coaxial probe. *Electron. Lett.* Jan. 19, 1995, vol. 32, no. 2, pp. 115-117. [1]
- [2] BAO, J.Z., SWICORD, M.L., and DAVIS, C.C., Microwave dielectric characterization of binary mixtures of water, methanol, and ethanol. *J. Chem. Phys.*, Mar. 12, 1996, vol. 104, no. 12, pp. 4441-4450. [2]
- [3] BLACKHAM, D.V. and POLLARD, R.D., An improved technique for permittivity measurements using a coaxial probe. *IEEE Trans. Instrumen. Meas.*, Oct. 1997, vol. 46, no. 5, pp. 1093-1099. [3]
- [4] CHOU, C.K., CHEN, G.W., GUY, A.W. and LUK, K.H., Formulas for preparing phantom muscle tissue at various radiofrequencies. *Bioelectromag.*, 1984, vol.5, pp. 435-441. [4]
- [5] CLARKE, R.N., GREGORY, A.P. HODGETTS, T.E., and SYMM, G.T. Improvements in coaxial sensor dielectric measurement: relevance to aqueous dielectrics and biological tissue. in *Microwave Aquametry: Electromagnetic Wave Interaction With Water-containing Materials*, A. Kraszewski, ed., New York: IEEE Press, 1996, pp. 279-297. [6]
- [6] COVENIN 2552:1999 Vocabulario internacional de términos básicos y generales en metrología.
- [7] DROSSOS, A., SANTOMAA, V. and KUSTER, N. The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Nov. 2000, vol. 48, no. 11, pp. 1988-1995. [8]
- [8] EA-2/03 (rev. 01) EAL Interlaboratory Comparison, Mar. 1996.<sup>38</sup> [IEEE 1528: 2003 B39]
- [9] EA-2/07 (rev. 01) *EAL Strategy to Achieve Comparability of Results in Calibration and Testing*, Mar. 1997. [9]
- [10] EIA RS-261-B: 1979, "Rectangular Waveguides (WR3 to WR2300)" [B42] IEEE 1528: 2003
- [11] EVANS, S. and MICHELSON, S.C. Intercomparison of dielectric reference materials

38 Disponible para la European cooperation for Accreditation, EA Secretariat, c/o Cofrac, 37 rue de Lyon, 75012 Paris, Francia (<http://www.european-accreditation.org/documents.html>).

available for the calibration of an open-ended probe at different temperatures. *Meas. Sci. tech.*, Dec. 1995, vol. 6, no. 12, pp. 1721-1732. [10]

[12] FARAONE, A., MCCOY, D. O., CHOU, C. K., and BALZANO, Q. Characterization of miniaturized E-field probes for SAR measurements. *IEEE Intl. Symp. Electromag. Compat.*, Washington, DC, 2000, pp. 749-754. [11]

[13] FERREIRA P.J.S.G. Non-iterative and fast iterative methods for interpolation and extrapolation. *IEEE Trans. Sig. Proc.*, Nov 1994, vol. 41, pp. 3278-3282. [12]

[14] FIEGUTH, P.W., KARL, W.C., WILLSKY, A.S. and WUNSCH, C. Multi-resolution optimal interpolation and statistical analysis of TOPEX/POSEIDON satellite altimetry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Mar. 1995, vol. 33, pp. 280-292. [13]

[15] FORD, C and ETTER, D.M. Wavelet basis reconstruction of non uniform sampled data. *IEEE Trans. Circuits Sys. II: Analog Dig. Sig. Proc.*, Aug. 1998, vol. 45, no. 8, pp. 1165-1168. [14]

[16] FUKUNAGA, K., WATANABE, S., WAKE, K., and YAMANAKA, Y., Time dependence of tissue-equivalent dielectric liquid materials and its effect on SAR. *EMC Europe Symp.*, Sorrento, Italy, Sep. 2002 [15]

[17] GABRIEL, C., CHAN, T.Y.A., and GRANT, E.H. Admittance models for open ended coaxial probes and their place in dielectric spectroscopy. *Phys. Med. Biol.*, 1994. vol. 39, no. 12, pp. 2183-2200. [16]

[18] GORDON, C.C., CHURCHILL, T., CLAUSER, C.E., BRADTMILLER, B., McCONVILLE, J.T., TEBBETTS I. and WALKER, R.A., 1988 *Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics*. Technical Report Natick/TR-89/044, U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Massachusetts: Natick, Sep. 1989. [18]

[19] GREGORY, A.P. and CLARKE, R.N. *Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz*. NPL Report CETM 33, Centre for Electromagnetic and Time Metrology. Teddington, England: National Physical Laboratory, 2001. [19]

[20] HILL, N.E., VAUGHAN, W.E, PRICE, A.H., and DAVIES, M. *Dielectric Properties and Molecular Behaviour*. London: Van Nostrand Reinhold, 1969. [20]

[21] IEEE 1309-2005, IEEE Standard for Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz, 2005.  
[[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&arnumber=1577466&isnumber=33342](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=1577466&isnumber=33342)]

[22] ISO/IEC 17025:2005, General Requirements for Measuring Equipment – Part 1:

Metrological Confirmation System for Measurement Equipment.

- [23] ISO/IEC Guide 43-1:1997, Proficiency testing by interlaboratory comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes. Geneva: International Organization for Standardization. [24]
- [24] ISO/IEC *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. Geneva: International Organization for Standardization, 1995. [25]
- [25] JENKINS, S., HODGETTS, T.E., CLARKE, R.N., and PREECE, A.W. Dielectric measurements on reference liquids using automatic network analysers and calculable geometries. *Meas. Sci. Tech.*, July 1990, vol. 1, no. 7, pp. 691-702. [26]
- [26] JOKELA, K., HYYSALO, P. and PURANEN, L. Calibration of specific absorption rate (SAR) probes in waveguide at 900 MHz. *IEEE Trans. Instrumen. Meas.*, Apr. 1998, vol. 47, no. 2, pp. 432-438. [27]
- [27] KAATZE, U. Complex permittivity of water as function of frequency and temperature. *J. Chem. Engin. Data*, 1989, vol. 34, no. 4, pp. 371-374. [28]
- [28] KAATZE, U., POTTEL R., and SCHAFER M. Dielectric spectrum of dimethyl sulfoxide/water mixtures as a function of composition. *J. Phys. Chem.*, 1989, vol. 93, pp. 5623-5627. [29]
- [29] KANDA, M.Y., BALLEN, M., CHOU, C.K. Formulation and characterization of tissue simulating liquids used for SAR measurement (500-2000 MHz). *Asia-Pacific Radio Science Conference*, Tokyo, Japan, Aug. 1-4, 2001, pp. 274. [30]
- [30] KUSTER N., KÄSTLE, R., and SCHMID, T., Dosimetric evaluation of mobile communications equipment with known precision (invited paper). *IEICE Trans. Commun.*, May 1997, vol. E80-B, no. 5, pp. 645-652. [31]
- [31] KUSTER, N., BALZANO, Q. and LIN, J.C., *Eds.*, *Mobile Communications Safety*. London: Chapman & Hall, 1997. [32]
- [32] LANCASTER, P. and SALKAUSKA, K. *Curve and Surface Fitting: An Introduction*. New York: Academic Press, 1986. [33]
- [33] LEE, A.K., and PACK, J.K. Effect of head size for cellular telephone exposure on EM absorption. *IEICE Trans. Commun.*, Mar. 2002, vol. E85-E, no. 3, pp. 968-701. [34]
- [34] LEE, A.K., CHOI, H.D., LEE, H.S., and PACK, J.K. Human head size and SAR characteristics for handset exposure. *ETRI J.*, Apr. 2002, vol. 24, no. 2, pp. 176-179. [35]
- [35] LEVIN, V.V. and PODLOVCHENKO, T.L. Dispersion of dielectric permittivity of

ethylene glycol. *Zhurnal Strukturnoi Khimii*, 1970, vol. 11, pp. 766-767. [37]

[36] MEIER, K., BURKHARDT, M., SCHMID, T. and KUSTER, N. Broadband calibration of E-field probes in lossy media. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Oct. 1996, vol. 44, no. 10, pp. 1954-1962. [38]

[37] MIGLIORE, M.D. Partial self-calibration method for permittivity measurement using truncated coaxial cable. *Electron. Lett.*, July 20, 2000, vol. 36, no. 15, pp. 1275-1277. [39]

[38] MISRA, D.A A quasi-static analysis of open ended coaxial lines. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Oct. 1987, vol. 35, no. 10, pp. 925-928. [40]

[39] MISRA, D., CHABBRA, M., EPSTEIN, B.R., MIROTZNIK, M., and FOSTER, K.R. Noninvasive electrical characterization of materials at microwave frequencies using and open-ended coaxial line: test of an improved calibration technique. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Jan. 1990, vol. 38, no. 1, pp. 8-14. [41]

[40] MISRA, D. On the measurement of the complex permittivity of materials by an open-ended coaxial probe. *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, May 1995, vol. 5, no. 5, pp. 161-163. [42]

[41] MOSIG, J.R, BESSON, J.C.E, GEX-FABRY, M. and GARDIOL, F.E. Reflection of an open-ended coaxial line and application to non-destructive measurement of materials. *IEEE Trans. Instrumen. Meas.*, 1981, IM-30, pp. 46-51. [43]

[42] NAHMAN, N.S., KANDA, M., LARSEN, E.B. and CRAWFORD, M.L. Methodology for standard electromagnetic field measurements. *IEEE Trans. Instrumen. Meas.*, Dec. 1985, vol. IM-34, no. 4, pp. 490-503. [44]

[43] NEVELS, R.D., BUTLER, C.M. and YABLON, W. The annular slot antenna in a lossy biological medium. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1985, MTT-30, pp. 314-319. [45]

[44] NIST TN1297, Guidelines for Evaluation and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1994. [46]

[45] NYSHADHAM, A., SIBBALD, C.L., and STUCHLY, S.S. Permittivity measurements using open-ended sensors and reference liquid calibration – an uncertainty analysis. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Feb. 1992, vol. 40, no. 2, pp. 305-314. [47]

[46] PERSON C., AHLONSOU, L.N. and GRANGEAT, C. New test bench for the characterization of SAR measurement probes used in tissue equivalent liquids, *Bioelectromagnetics Society 22<sup>nd</sup> Annual Meeting*, Munich Germany, June 11-16-2000. [48]

[47] PERSON C., TANNÉ, G., AHLONSOU, L.N., NGOUNOU, C. and GRANGEAT, C. New reference antennas for SAR probe calibration in tissue equivalent liquid. *Millennium*

*Conference on Antennas and Propagation, AP2000*, Davos, Switzerland: April 9-14, 2000. [49]

[48] PEYMAN, A. and GABRIEL, C. Tissue equivalent liquids for SAR measurements at microwave frequencies. *Bioelectromagnetics Society 24th Annual Meeting*, Quebec, Canada, June 2002, poster P-53. [50]

[49] POKOVIC, K., *Advanced Electromagnetic Probes for Near Field Evaluation*. Doc. Tech. Sci. Diss. ETH Nr. 13334. Switzerland, Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 1999. [51]

[50] POKOVIC, K., SCHMID, T., and KUSTER, N. Robust setup for precise calibration of E-field probes in tissue simulating liquids at mobile communication frequencies. In *Proceedings ICECOM'97*. Dubrovnik, Croatia, Oct. 12-17, 1997, pp. 120-124. [52]

[51] POKOVIC, K., SCHMID, T., CHRIST, A. and KUSTER, N. Design and characterization of E-field probes for lossy media. Submitted to *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1999. [53]

[52] POURNAROPOULOS, C.L. and MISRA, D.K. The co-axial aperture electromagnetic sensor and its application in material characterization. *Meas. Sci. Tech.*, 1997, vol. 8, pp. 1191-1202. [54]

[53] PRESS, W.H., FLANNERY, B.P., TEUKOLSKY, S.A. and VETTERLING, W.T. *Numerical Recipes in FORTRAN 77: The Art of Scientific Computing*. New York: Cambridge University Press, 1992. [55]

[54] RAMO, S., WHINNERY, J.R. and VAN DUZER, T. *Fields and Waves in Communication Electronics*. New York, Wiley, 1993. [56]

[55] SCHMID, T., EGGER O. and KUSTER, N. Automated E-field scanning system for dosimetric assessments. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Jan. 1996, vol. 44, no. 1, pp. 105-113. [57]

[56] SCHÖNBORN, F., BURKHARDT, M. and KUSTER, N. The difference of EM energy absorption between adults and children. *Health Phys.*, Feb. 1998, vol. 74, no. 2, pp. 160-168. [58]

[57] TAYLOR, J.R. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties In Physical Measurements*. 2nd ed. Sausalito, CA: University Science Books, 1997. [59]

[58] UKAS LAB34, *The Expression of Uncertainty in EMC Testing*. Feltham, Middlesex, England: United Kingdom Accreditation Service, 2002. [61]

[59] USTUNER, K.F. and FERRAI, L.A. Discrete splines and spline filters. *IEEE Trans. Circuits Sys.*, July 1991, vol. 39, no. 7, pp 417-422. [63]

[60] VIGNERAS, V. *Elaboration and characterization of biological tissues equivalent liquids in the frequency range 0.9-3 GHz, final report*. France: PIOM Laboratory, University of Bordeaux, Nov. 2001. [64]

[61] VON HIPPEL, A. *Dielectric Materials and Application*. Cambridge: MA: MIT Press, 1954. [65]

## [ANEXO N° 2]

**Tabla 2.1 – Principales diferencias entre el estándar IEEE 1528:2003 y la norma IEC 62209-1:2005**

Anteproyecto de norma de TAE CENDIT		IEEE 1528:2003		IEC 62209-1:2005		Observaciones
Parámetro	Cláusula		Cláusula		Cláusula	
Fantasma plano	5.2.2.2	Es incluido en el cuerpo de la norma y detallado en los anexos	5.3.3	Solo es incluido en los anexos el detalle	Anexo H	Se consideró de importancia el mencionar el fantasma plano, tanto en el cuerpo de la norma como el detallarlo en sus anexos
Mínimo límite de detección de TAE	5.3.1	0.01 W/kg	A.4	<0.02 W/kg	5.3	Escogiendo el límite inferior, se cumple con el requisito de la norma IEC 62209-1
Rango de linealidad de la sonda	5.3.1	0.4 W/kg - 100 W/kg	E.2.4	0.01 W/kg - 100 W/kg	5.3	Escogiendo el rango más amplio, se cumple con el requisito del estándar IEEE 1528
Sonda de campo eléctrico (campo-E) y electrónica de lectura	5.3.2	Es descrita detalladamente	4	No es descrita detalladamente	X	Se consideró de importancia el detallar los aspectos que debe tener la sonda de campo.E
Tolerancia del dispositivo de soporte de muestra	5.5	No especifica	5.1.5	±1°	5.5	Se consideró de importancia el especificar la tolerancia del dispositivo de soporte de muestra

**Tabla 2.1 – Principales diferencias entre el estándar IEEE 1528:2003 y la norma IEC 62209-1:2005 (continuación)**

Anteproyecto de norma de TAE CENDIT		IEEE 1528:2003		IEC 62209-1:2005		Observaciones
Parámetro	Cláusula		Cláusula		Cláusula	
Modos operacionales del equipo bajo prueba	6.1.5	Son descritos los modos de operación	6.3.1	No son descritos	X	Se consideró de importancia mencionar la medición en diferentes modos de operación
Incertidumbre	7	Incluye tabla para la medición y validación del sistema	Anexo E	Solo muestra la tabla para las mediciones del sistema	7	Con dos tablas se especifica mejor cual debe usarse para cada caso (validación y medición)
Incertidumbre	7	Es colocado como un Anexo	Anexo E	Es colocado como una cláusula	7	Debido a su relevancia para las mediciones fue adoptado como cláusula
Incertidumbre debido a los límites de detección	7.2.1.4	Más detallado con ejemplos	E.2.5	Menos detallado sin ejemplos	7.2.1.4	En la cláusula E.2.5 se colocan ejemplos de valores esperados de TAE usados para determinar esta incertidumbre
Reporte de medición	8	Detallada	7	Incompleta y sin detalles	8	Se consideró de importancia detallar los aspectos que debe tener el reporte de medición
Verificación del sistema	9	Es colocado como cláusula	8	Es colocado como anexo	Anexo D	Debido a su relevancia para las mediciones fue adoptado como cláusula

**Tabla 2.1 – Principales diferencias entre el estándar IEEE 1528:2003 y la norma IEC 62209-1:2005 (continuación)**

Anteproyecto de norma de TAE CENDIT		IEEE 1528:2003		IEC 62209-1:2005		Observaciones
Parámetro	Cláusula		Cláusula		Cláusula	
Montaje de la Verificación del Sistema	9.2.4	Usa dos medidores de potencia y están colocados correctamente de acuerdo al acoplador direccional	8.2.4	Usa tres medidores de potencia y no se interpreta fácilmente de la ilustración cuales medidores de potencia miden la potencia reflejada o incidente	D.2.4	Una implementación con dos medidores de potencia es suficiente para poder verificar el sistema
Especificaciones detalladas del fantasma	Anexos A y F	Mostradas en un solo Anexo	Anexo D	Mostradas en dos Anexos separados	Anexos A y H	Se especifica en un Anexo el fantasma plano y en otro el antropomórfico
Evaluación de la sensibilidad de los sensores dipolos	B.2	No se encuentra detallada y sin desglosar.	A.1	Desglosada y más detallada	B.2	Se consideró de importancia el detallar y desglosar los aspectos que debe tener este parámetro
Guía para el diseño de guías de ondas para calibración	Tabla B.2.1	Especificada	Tabla A.1	No especificada	X	Está tabla refleja valores para el diseño de guías de ondas para la calibración de las sondas
Ecuación para determinar la profundidad de penetración de la piel	B.2.1.2.2	Mostrada	A.3.2.2	No se muestra	X	Con esta ecuación es posible determinar todos los valores para calcular la TAE dentro de una guía de ondas para la calibración
Calibración de los instrumentos de medición	B.8	Incluye resolución espacial	A.6	No incluye resolución espacial	X	Se consideró de importancia incluir detalles sobre la resolución espacial de la sonda durante la calibración

**Tabla 2.1 – Principales diferencias entre el estándar IEEE 1528:2003 y la norma IEC 62209-1:2005 (continuación)**

Anteproyecto de norma de TAE CENDIT		IEEE 1528:2003		IEC 62209-1:2005		Observaciones
Parámetro	Cláusula		Cláusula		Cláusula	
Procedimientos de Integración en superficies curvas	C.2	Ilustra y no da detalle del método empleado	E.5.3	Detalla e ilustra los métodos empleados	C.2	Se consideraron importantes estos detalles de los métodos importantes para su implementación
Definición del sistema de coordenadas de un fantasma y del sistema de coordenadas de un equipo bajo prueba	Anexo D	No incluye una definición del sistema de coordenadas	X	Incluye la definición del sistema de coordenadas	Anexo F	Se consideró de importancia el definir el sistema de coordenadas para la correcta ubicación de los EBP
Técnicas de Post procesamiento	Anexo C	Incluye ejemplos y demostraciones	F.4.2, F.4.3 y F.5	No incluye ejemplos y demostraciones	Anexo C	Estos ejemplos y demostraciones no aportan mayor información para la finalidad de la norma, por lo que se consideraron irrelevantes para la medición de la TAE.

Nota: En fondo verde el parámetro tomado para el anteproyecto de norma de TAE venezolana

Nota: En donde existe una “X”, significa que esa norma carece de una cláusula que especifique ese parámetro